

Szanowni Państwo,

Ponowna lektura Biuletynów Pro Novum, które ukazały się na łamach „Energetyki” w ostatnich kilku latach, przynosi nam satysfakcję. Artykuły, zwłaszcza te, które odnosiły się do potrzeby, możliwości i warunków dalszej pracy długo eksploatowanych urządzeń oraz bloków energetycznych nic nie straciły na swojej aktualności, a proponowane rozwiązania na praktycznej przydatności. Niestety, nasze komentarze dotyczące założeń i sposobu wdrażania polityki klimatycznej UE także pozostają aktualne. U progu piątego miesiąca wojny w Ukrainie perspektywy rzeczywistych zmian w europejskiej polityce klimatycznej wydają się niepewne. Ewentualne jej korekty mają mieć charakter wyłącznie krótkookresowy.

W niniejszym Biuletynie zamieszczamy artykuły, który prezentują koncepcję oraz główne komponenty Metody Pro Novum poprawy elastyczności oraz zapewnienia bezpieczeństwa w okresie dalszej eksploatacji bloków klasy 200 MW. Metoda Pro Novum to rezultat zakończonego sukcesem naszego udziału w Programie Bloki 200+. Poprawę elastyczności traktujemy jako jeden z warunków dalszej eksploatacji bloków klasy 200 MW, gdyż wraz z rozwojem OZE ich warunki pracy będą w coraz większym stopniu uzależnione od stabilizacji systemu elektroenergetycznego, a więc źródłem wyczerpania trwałości będą naprężenia zmienne i postojowe, a nie utrata trwałości według liczby godzin pracy.

Zakładamy, że Metoda Pro Novum może zostać wykorzystana jako ważna część serwisów LTSA, które mogą zapewnić zarówno bezpieczeństwo eksploatacji jak również zapobiec – obserwowanej niestety – utracie kompetencji technicznych. Ważną częścią tych serwisów powinny być zdalne nadzory diagnostyczne, nie tylko dla pojedynczych bloków, ale także dla większej ich liczby i nie tylko w obrębie jednej elektrowni. W przeszłości oferowaliśmy taką usługę wszystkim użytkownikom bloków klasy 200 MW. Rekomendujemy powrót do tego rodzaju współpracy w ramach powstającej organizacji odpowiedzialnej za eksploatację węglowych aktywów polskiej energetyki.

Jubileusz 35-lecia Pro Novum, z którego relację zamieszczamy także w niniejszej Energetyce, skłania do wspomnień. Wśród nich wysoką rangę przyznajemy tym, które wiążą się z naszymi zagranicznymi kontaktami w celu oferowania naszych technologii. Większość z nich była i jest nadal atrakcyjna, nie tylko dla polskiej energetyki, czego przykładem jest zamieszczony w niniejszym Biuletynie Pro Novum artykuł napisany przez A.A. Bendusa, Generalnego Dyrektora dużej ukraińskiej firmy remontowej OOO „Charków Energoremont” w związku z naszymi kontaktami z ukraińskimi firmami remontowymi oraz elektrowniami (Donieck, Charków, Kijów). Nasze technologie przedłużania eksploatacji, także ukraińskich odpowiedników bloków klasy 200 MW, zwłaszcza rewitalizacji stalowych elementów turbin spotkały się z dużym zainteresowaniem. O wysokiej ocenie naszego podejścia do remontów, w tym zwłaszcza przedłużania trwałości elementów krytycznych urządzeń energetycznych pisze A.A. Bendus w prestiżowym, branżowym piśmie ukraińskich energetyków.

Może, gdy wojna skończy się, w ramach pomocy dla ukraińskiej energetyki powstaną warunki dla kontynuowania naszej współpracy. Technologie opisane w artykule nadal, z powodzeniem, stosowane są nie tylko w Polsce.

Jerzy Trzeszczyński & Jerzy Dobosiewicz

Poprawa elastyczności bloków klasy 200 MW poprzez wykorzystanie możliwości i rezerw po stronie sterowania oraz zapasów trwałości

Improving the flexibility of 200 MW class units by using capabilities and reserves of the control-side as well as remaining life

Zdobyta wiedza i doświadczenie skłoniły *Pro Novum* do opracowania *Metody*, której podstawowymi atutami są uniwersalność i niskie koszty wdrożenia, co sprawia, że może zostać zaimplementowana z korzyścią ekonomiczną nawet na blokach, których dalsza eksploatacja może być względnie krótka z uwagi na niespełnienie wszystkich wymagań emisyjnych oraz braku korzyści z Rynku Mocy, a także wykonywania specjalnych usług systemowych. W artykule przedstawiono genezę, podstawowe założenia, warunki wdrożenia, opis funkcjonalny oraz atuty *Metody Pro Novum*.

Słowa kluczowe: *Metoda Pro Novum*, uniwersalność, niskie koszty wdrożenia *Metody*

The acquired knowledge and experience moved *Pro Novum* to develop a *Method*, the main advantages of which are universality and low implementation costs, which means that it can be implemented with an economic benefit even on units whose further operation may be relatively short due to failure to meet all emission requirements and no benefits from the Power Market as well as special system services. The article presents the genesis, basic assumptions, implementation conditions, functional description and advantages of the *Pro Novum Method*.

Keywords: *Pro Novum Method*, universality, low implementation cost

Aktualnie, w jeszcze większym stopniu niż dotąd, trudno sobie wyobrazić bezpieczną dla polskiej elektroenergetyki, gospodarki i gospodarstw domowych, transformację bez wsparcia jej przez odpowiedni czas, przez bloki klasy 200 MW. Bloki te stanowią nadal jedną z najważniejszych części polskiego systemu elektroenergetycznego zarówno ze względu na volumen energii, który generują, jak również ze względu na elastyczność, jaką mu zapewniają poprzez swą liczbę oraz indywidualne predyspozycje. Te ostatnie udało nam się zidentyfikować i wykorzystać poprawiając elastyczność bloku referencyjnego nr 1 w *Enea Elektrownia Połaniec*. Wykazaliśmy, że poprawę elastyczności można uzyskać wykorzystując odpowiednio możliwości i rezerwy po stronie sterowania oraz zapasy trwałości.

Geneza *Metody Pro Novum*

Źródłem *Metody Pro Novum* jest wiedza oraz ponad 30-letnie doświadczenie zdobyte podczas:

- badań diagnostycznych 42 bloków klasy 200 MW [1, 2],
- monitorowania stanu technicznego 26 bloków 200 MW [3, 4],
- współpracy ze specjalistami wszystkich użytkowników bloków klasy 200 MW przy opracowaniu „Wytucznych przedłużania eksploatacji bloków jw. do 350 000 godzin” [5-7],
- rewitalizacji stalowych elementów 21 turbin klasy 13K215 [8],
- badań niszczących krytycznych elementów kotłów (walczaki), głównych rurociągów parowych (kolan) oraz wirników, kadłubów i komór zaworowych turbin po przekroczeniu 250 000 godzin pracy [9].

Nasza wiedza zdobyta w wyżej opisany sposób wskazuje, że elementy krytyczne (grubościenne) niewymienione dotąd na nowe oraz poddane rewitalizacji wykazują znaczny zapas trwałości pozwalający na ich eksploatację co najmniej do 350 tys. godzin, nawet jeśli warunki pracy ulegną zmianie w odpowiedniej relacji do posiadanego zapasu trwałości [4].

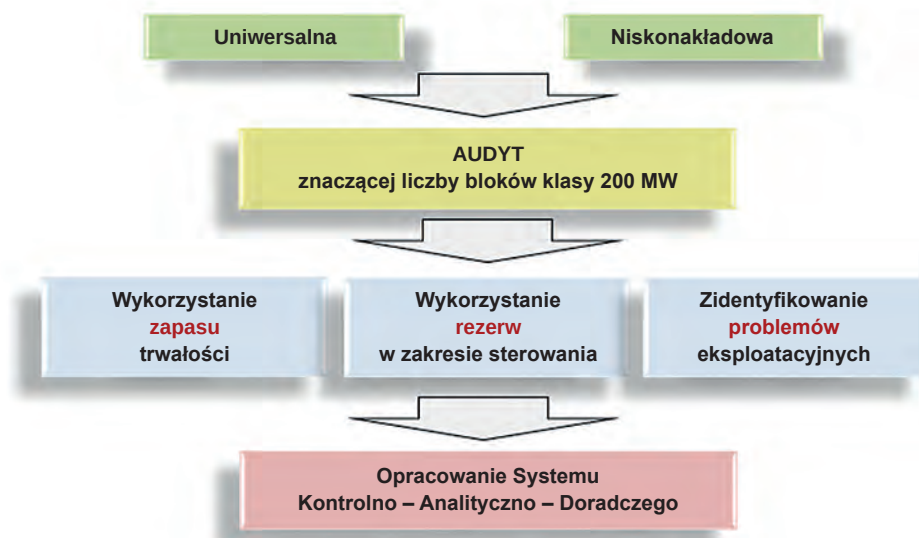
Wyniki monitorowania warunków eksploatacji i bieżącego stanu technicznego urządzeń ciepłno-mechanicznych bloków 200 MW dowiodły, że:

- bloki można uruchamiać w różnym czasie, także względnie krótkim, jeśli stan techniczny urządzeń, zwłaszcza wykonawczych AKPiA, oraz kompetencje techniczne obsługi są odpowiednio wysokie;
- gradienty temperatury i poziomy naprężeń bywają znacznie wyższe od wartości uznawanych (np. w instrukcjach) za akceptowalne;
- uszkodzenia zarówno o charakterze pętlaniowym jak i zmęczeniowym oraz zmęczeniowo-pętlaniowym są w większym stopniu skutkiem błędów konstrukcyjnych, montażowych oraz niesprawności urządzeń automatyki (np. praca schładzaczy) niż warunków pracy, nawet intensywnie regulacyjnej (nie tylko bloków 200 MW).

Metoda Pro Novum – podstawowe założenia

Zdobyta dotąd wiedza i doświadczenie skłoniły nas do opracowania *Metody*, której podstawowymi atutami są: uniwersalność i niskie koszty wdrożenia, co sprawia, że może zostać

Metoda Pro Novum



Rys. 1. Istota *Metody Pro Novum* – powiększenie elastyczności bloków klasy 200 MW

zaimplementowana z korzyścią ekonomiczną nawet na blokach, których dalsza eksploatacja może być względnie krótka ze względu na niespełnienie wymagań emisyjnych według konkluzji BAT, jak również bez znaczących profitów z Rynku Mocy. Istotę *Metody* przedstawiono na rysunku 1.

W celu potwierdzenia zapasów/rezerw po stronie trwałości i sterowania zaprojektowano narzędzia dla:

- ich identyfikacji;
- weryfikacji, z wykorzystaniem modelowania i symulacji procesów, analizy stanów termicznych, naprężeń i utraty trwałości;
- oceny stanu technicznego i prognozowania trwałości do jej całkowitego wyczerpania na skutek:
 - zmęczenia,
 - pełzania,
 z uwzględnieniem pracy warunkowej na podstawie metod i kryteriów mechaniki pękania [10, 11];
- bieżącego monitorowania:
 - stanów termicznych i naprężeń w wybranych elementach krytycznych kotła, głównych rurociągów parowych oraz turbiny,
 - emisji podstawowych zanieczyszczeń w spalinach w kontekście intensywności regulacji,
 - efektywności wytwarzania energii z wykorzystaniem pomiaru w trybie *on-line* Wskaźnika Jednostkowego Zużycia Energii Chemicznej Paliwa;
- optymalizacji pracy pompy wody chłodzącej z uwzględnieniem pracy regulacyjnej.

Warunki wdrożenia *Metody Pro Novum*

W celu weryfikacji założeń *Metody* przyjęto, że jej wdrożenie będzie przebiegało na bloku referencyjnym, który:

- w przeszłości został zmodernizowany w niewielkim zakresie;
- w okresie wdrażania podlegał będzie wyłącznie typowym, wcześniej zaplanowanym remontom bieżącym;

- plany produkcyjne zachowa bez zmian, z wyjątkiem okresów testów i optymalizacji po zmianach w systemie sterowania oraz podczas Pomiaru I i Pomiaru II (według wymagań NCBiR);
- Instrukcje Eksploatacji zachowa z możliwie najmniejszą liczbą zmian;
- poza instalacją czujników dla dodatkowych pomiarów temperatur metalu i czynnika (w możliwie najmniejszym zakresie) nie dozna żadnych zmian konstrukcyjnych, zarówno w obszarze urządzeń głównych jak i pomocniczych;
- nie będzie udostępniał sygnałów o charakterze obliczeniowym zaimplementowanych wcześniej na potrzeby kontroli eksploatacji i sterowania.

Ewentualne awarie bloku będą analizowane pod kątem ich związku z pracami realizowanymi na potrzeby *Metody*. Dotąd, w całym okresie wdrażania *Metody* na bloku referencyjnym oraz dalszej jego eksploatacji nie zarejestrowano takiego przypadku.

Opis funkcjonalny *Metody Pro Novum*

Wdrożenie *Metody Pro Novum* na bloku referencyjnym wymagało wykonania poniżej wymienionych prac oraz przedsięwzięć.

1. Audyt bloku – przez który należy rozumieć:
 - a) analizę historii i warunków pracy w okresie od ostatniego remontu kapitalnego,
 - b) inwentaryzację systemu pomiarowego,
 - c) ocenę stanu technicznego z prognozą trwałości na podstawie retrospekcji i własnych badań diagnostycznych,
 - d) analizę Instrukcji Eksploatacji,
 - e) analizę systemu sterowania, w tym przypadku Systemu Ovation w wersji Solaris,

- f) identyfikację podczas testów ograniczeń naprężeniowych oraz poszczególnych rodzajów ograniczeń ruchowych towarzyszących zwiększaniu prędkości naboru mocy i temperatur pary,
 - g) sposób redukcji poziomu emisji, zwłaszcza w zakresie NO_x , SO_x oraz pyłu,
 - h) analizę strategii eksploatacji bloku w możliwie najdłuższym horyzoncie czasowym,
- oraz opracowanie wniosków dotyczących możliwości wdrożenia *Metody* i listy problemów wymagających rozwiązania.

2. Instalacja dodatkowych czujników oraz doprowadzenie sygnałów pomiarowych do DCS bloku.
Na stałe zainstalowano dodatkowo 72 czujniki. Sygnały doprowadzono do DCS oraz Stacji Inżynierskiej *Pro Novum* (rys. 2).
3. Instalacja Systemu Zdalnej Komunikacji pomiędzy blokiem referencyjnym, jego DCS, Stacją Inżynierską EFSPRO oraz Informatycznym Środowiskiem Testowym (IŚT), którego architekturę przedstawiono na rysunku 2.

System składa się z dwóch głównych komponentów.

- A. Stacji Inżynierskiej EFSPRO połączonej z DCS bloku wykorzystywanej do archiwizacji i przetwarzania dodatkowych sygnałów pomiarowych (pkt 2) oraz implementacji Bloku Kontroli Trwałości (BKT) do obliczeń naprężeń, w trybie *on-line*, w wybranych elementach krytycznych bloku, także do nadzorowania zapasów naprężeń i trwałości podczas pracy bloku, jak również podczas jego testów, strojenia i optymalizacji po zmianach w systemie sterowania.
- B. Informatycznego Środowiska Testowego (IŚT), w którym zaimplementowano:
 - Wirtualny Blok klasy 200 MW, WBK200,
 - Platformę Informatyczną BLOKI200PRO+ integrującą programy wspierające audyt bloku, komercjalizację *Metody* oraz bezpieczeństwo, dyspozycyjność i efektywność eksploatacji.

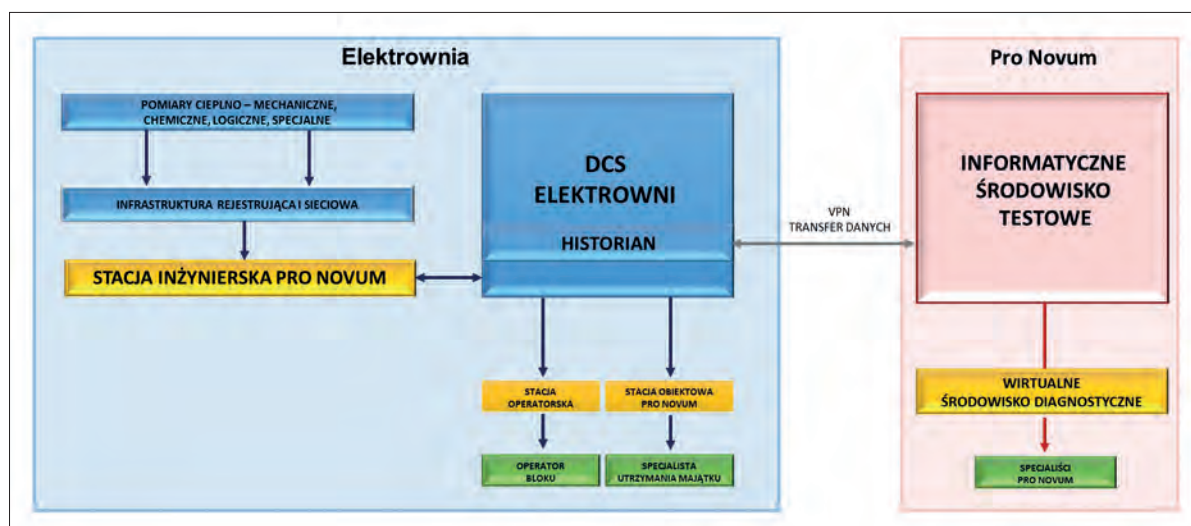
Architekturę IŚT przedstawiono na rysunku 3. Informatyczne Środowisko Testowe wykorzystywane jest do:

- organizowania pracy specjalistom *Pro Novum* oraz partnerom/podwykonawcom, w dowolnej lokalizacji, którym udostępniono maszyny wirtualne wyposażone w oprogramowanie podstawowe oraz specjalistyczne: MatLab, IpsePro, ANSYS;
- zapewnienia dostępu do sygnałów procesowych w trybie *off-line* oraz *on-line*, np. dla zdalnej obserwacji pracy bloku, zwłaszcza podczas testów, strojenia systemu sterowania oraz optymalizacji pracy bloku;
- modelowania procesów i ich symulacji, co odbywa się z wykorzystaniem zaawansowanych, parametrycznych bliźniaków cyfrowych elementów krytycznych kotła i turbiny oraz całych instalacji: rurociągi pary świeżej i wtórnie przegrzanej;
- demonstracji/udostępniania wyników specjalistom Urzędu Dozoru Technicznego (UDT Room) oraz Elektrowni (Pomieszczenie EEP);
- udostępniania i przekazywania dokumentów i informacji, poprzez Komunikator PRO, pomiędzy specjalistami *Pro Novum* i podwykonawcami oraz weryfikujących je firm na potrzeby Programu Bloki 200+.

Wirtualny Blok klasy 200 MW (rys. 3 i 4) to informatycznie zaimplementowana architektura bloku z zamodelowanymi urządzeniami: głównymi oraz pomocniczymi (według potrzeb), wyposażona w interfejsy do:

- demonstracji pracy bloku w trybie *on-line* oraz *off-line*,
- modelowania i symulacji procesów:
 - termodynamicznych w głównych komponentach kotła i turbiny w środowisku Matlab/Simulink,
 - cyrkulacji czynnika w konturze parownika,
 - obiegu cieplnego z wykorzystaniem IPSEpro;
- modelowania i symulacji stanów termicznych i naprężeniowych.

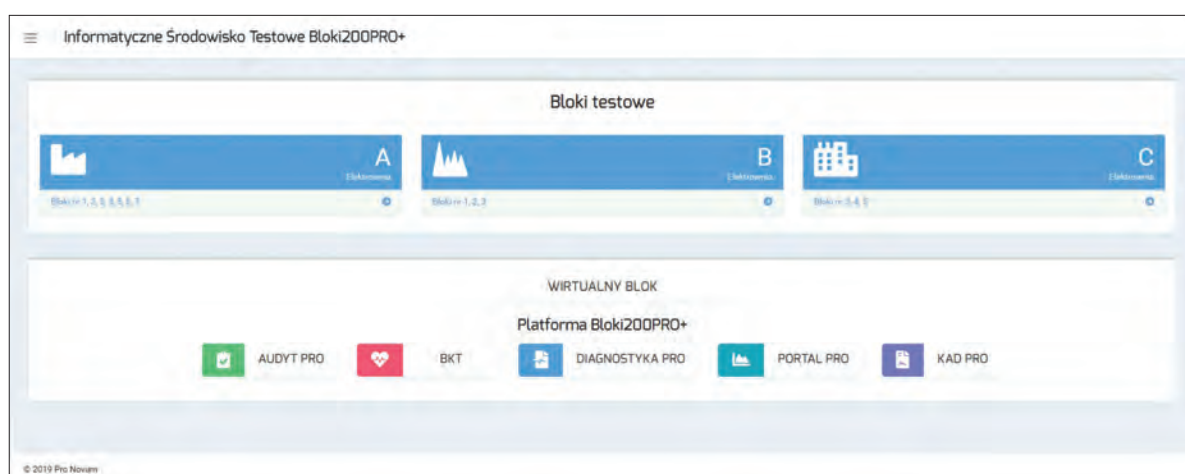
Dostęp do Informatycznego Środowiska Testowego zapewnia interface przedstawiony na rysunku 4.



Rys. 2. System Zdalnej Komunikacji pomiędzy blokiem referencyjnym w *Elektrowni Połaniec* oraz Informatycznym Środowiskiem Testowym w *Pro Novum*



Rys. 3. Jeden z Interfejsów Wirtualnego Bloku klasy 200 MW



Rys. 4. Interface do Informatycznego Środowiska Testowego

Programy z Platformy BLOKI200PRO+ przeznaczone są, uogólniając, do:

- 1) wspierania wdrożenia *Metody Pro Novum* na dowolnym bloku klasy 200 MW – Program Audyt PRO;
- 2) zapewnienia bezpiecznej pracy bloku o zwiększonej elastyczności oraz w trybie jeszcze bardziej intensywniej niż dotąd pracy regulacyjnej poprzez zastąpienie Bloku Ograniczeń Termicznych (BOT) dokładniejszymi dla oceny stopnia wyczerpania trwałości, kryteriami naprężeniowymi (Blok Kontroli Trwałości, BKT);
- 3) zdalnej diagnostyki z wykorzystaniem programu Diagnostyka PRO, opartej na bieżącej analizie rzeczywistych warunków pracy; standardowe podejście wykorzystujące czas pracy i liczbę uruchomień z poszczególnych stanów cieplnych może prowadzić do nieakceptowalnych niedokładności;
- 4) nadzoru nad bezpieczną i dyspozycyjną pracą bloku eksploatowanego w intensywniej regulacji, z przyspieszonymi uruchomieniami i naborami mocy, z dużą ilością uruchomień lub pracy bloku przy obniżonym minimum technicznym; taką funkcjonalność posiada Program Kontrolno-Analityczno-Doradczy (KAD PRO), który na bieżąco analizuje związek

pomiędzy stopniem intensywności regulacji a stanem technicznym głównych urządzeń ciepłno-mechanicznych, ich dyspozycyjnością oraz efektywnością elastycznego trybu pracy bloku;

- 5) wsparcia komercjalizacji *Metody Pro Novum* (Portal PRO), ale także procesu zachowania kompetencji, których wyczerpanie może stwarzać zagrożenie dla bezpieczeństwa, równie duże jak wyczerpanie trwałości [12].

Atuty Metody Pro Novum

- Pozwala zwiększyć elastyczność bloku w sposób niskonakładowy.
- Zwiększenie elastyczności można uzyskać względnie szybko, bez potrzeby istotnej zmiany planów produkcyjnych, w tym planów remontowych.
- Poprawia bezpieczeństwo i dyspozycyjność niezależnie od stopnia intensywności pracy regulacyjnej.
- Może być wdrażana w całości lub w formie implementacji wybranych komponentów w zależności od wymagań Operatora Systemu Energetycznego oraz specyficznych

uwarunkowań danej elektrowni czy konkretnego bloku. Wspiera racjonalną redukcję nakładów na utrzymanie stanu technicznego z zachowaniem bezpieczeństwa i oczekiwanej dyspozycyjności.

- Może zostać zaimplementowana z korzyścią ekonomiczną nawet na blokach, których dalsza eksploatacja może być względnie krótka, bez znaczących profitów z Rynku Mocy oraz bardziej wymagających niż dotąd usług systemowych.
- Stwarza dogodne warunki do współpracy z Urzędem Dozoru Technicznego, co powinno sprzyjać jej komercjalizacji.

Metodę *Pro Novum* wyposażono w narzędzia wsparcia jej komercjalizacji z możliwością wykorzystania pracy zdalnej, co uważamy za jej atut porównywalny do jej uniwersalności oraz względnie niskich kosztów wdrożenia. Możliwość przetwarzania informacji w wiedzę niezbędną dla zapewnienia bezpieczeństwa i dyspozycyjności zwłaszcza w zakresie utrzymania stanu technicznego w skali nie tylko jednego bloku i nie tylko w jednej elektrowni sprawia, że kompetencje w tym zakresie można zachować zwłaszcza dla tych bloków, które mogą być nadal eksploatowane przez 10-15 lat.

PIŚMIENNICTWO

- [1] Dobosiewicz J., *Przydatność elementów kotła po przekroczeniu obliczeniowego czasu pracy*. „Energetyka” 1983, nr 8.
- [2] Trzeszczyński J., *Eksploatacja urządzeń ciepłno-mechanicznych elektrowni po przekroczeniu trwałości projektowej – Rekomendacje i doświadczenia Pro Novum*. „Nowa Energia” 2014, nr 1.
- [3] Trzeszczyński J., *System diagnostyczny zapewniający bezpieczną pracę bloków 200 MW eksploatowanych po przekroczeniu 300 000 godzin*. „Dozór Techniczny” 2012, nr 2.
- [4] Trzeszczyński J., Trzeszczyńska E., *Diagnostic as a source of knowledge and strategy for units of coal flexible fired power plants*. “VGB PowerTech” 2020, nr 9.
- [5] PN/20.2900/2013: Wytyczne przedłużania czasu eksploatacji urządzeń ciepłno-mechanicznych bloków 200 MW. Część I. Założenia ogólne. Część II. Diagnostyka elementów krytycznych kotła oraz głównych rurociągów parowych i wodnych. Część III. Diagnostyka rur powierzchni ogrzewalnych kotłów. *Pro Novum*. Katowice, luty 2013. Niepublikowane.
- [6] PN/30.2910/2013: Wytyczne przedłużania czasu eksploatacji urządzeń ciepłno-mechanicznych bloków 200 MW. Część I. Założenia ogólne. Część II. Diagnostyka elementów krytycznych turbin i generatorów. *Pro Novum*. Katowice, luty 2013. Niepublikowane.
- [7] PN/045.3360/2016: Wytyczne przedłużania czasu eksploatacji urządzeń ciepłno-mechanicznych bloków 100-360 MW. *Pro Novum*. Katowice 2013/2016.
- [8] Grzesiczek E., Trzeszczyński J., Rajca S., *Możliwości wydłużenia czasu eksploatacji elementów części przepływowych turbin parowych*. „Energetyka” 2003, nr 12.
- [9] Sprawozdanie *Pro Novum* 049.3096/2014: Badania wybranych elementów krytycznych bloków 200 MW po długotrwałej eksploatacji dla określenia możliwości przedłużania ich eksploatacji do 350 000 godzin. Katowice 2014. Niepublikowane.
- [10] BS 7910 – 2013+A1:2015: Guide to methods for assessing the acceptability of flaws in metallic structures.
- [11] Trzeszczyński J., Murzynowski W., *Nadzór diagnostyczny nad warunkową eksploatacją uszkodzonych schładzaczy do czasu ich wymiany lub naprawy*. „Energetyka” 2019, *Biuletyn Pro Novum* nr 1/2019.
- [12] Stanek R., Trzeszczyński J., Dąbrowski M., *Diagnostyka jednego typu urządzeń w skali KSE z wykorzystaniem portalu internetowego integrującego informacje eksploatacyjne*. „Energetyka” 2017, *Biuletyn Pro Novum* nr 2/2017.

Architektura cyfrowego środowiska diagnostycznego wspierającego wdrożenie *Metody Pro Novum* na blokach klasy 200 MW

Digital infrastructure of diagnostic environment to support a *Pro Novum Method* on 200 MW power unit

W artykule przedstawiono opis cyfrowego środowiska diagnostycznego przygotowanego na potrzeby realizacji *Metody Pro Novum*, na bloku referencyjnym w ramach Programu „Bloki 200+”. Opisano wykonaną architekturę systemu kontrolno-pomiarowego i sterowania na podstawie danych konstrukcyjnych i procesowych. Przedstawiono zastosowanie *Metody Pro Novum* wykorzystującej specjalistyczne oprogramowanie i moduły oparte na wirtualnych modelach elementów krytycznych i symulacji procesów.

Słowa kluczowe: cyfrowe środowisko diagnostyczne, system zdalnej komunikacji, modelowanie konstrukcji i procesów, symulacja warunków pracy

The article describes a digital infrastructure of diagnostic environment that was realized *Pro Novum Method* on reference power unit, which was realized in "Blocks 200+" competition. The article presents infrastructure of control and measurement system based on technical and process data. *Pro Novum Method* was applied using a specialized software and modules including virtual models of critical elements and process simulation.

Keywords: digital diagnostic environment, remote communication system, structure and process modelling, simulation of working conditions

Wstęp

Technologie informatyczne oraz zaawansowane metody analityczne wykorzystujące modelowanie procesów z możliwością ich symulacji znajdują swoje miejsce i zastosowanie zwłaszcza w energetyce. *Pro Novum* systematycznie cyfryzuje swoje środowisko diagnostyczne, rozwijając i oferując od prawie 20 lat diagnostykę zdalną, stosując przy tym najnowocześniejsze narzędzia diagnostyczne do modelowania i symulacji wybranych procesów towarzyszących eksploatacji bloku, zwłaszcza wyczerpania trwałości jego elementów krytycznych. Zadaniem zdalnego systemu diagnostycznego jest bieżąca ocena stanu technicznego i aktualizacja prognozy trwałości elementów bloku na podstawie analizy parametrów pracy. Stworzona architektura Systemu Zdalnej Komunikacji zapewnia bezpieczeństwo danych i możliwość pracy poprzez łączenie się z rzeczywistym obiektem w trybie zdalnym [1].

System Zdalnej Komunikacji

Implementacja *Metody Pro Novum* na bloku referencyjnym wymagała wykonania audytu bloku polegającego na analizie konstrukcji (zakresu wcześniejszych modernizacji), ocenie stanu technicznego jego wybranych komponentów, instalacji dodatkowych czujników, a także zaprojektowania i instalacji Systemu Zdalnej Komunikacji pomiędzy blokiem referencyjnym, jego DCS a Stacją Inżynierską EFSPRO+ oraz Informatycznym Środowiskiem Testowym (IŚT) w *Pro Novum*. Architekturę systemu kontrolno-pomiarowego, akwizycji danych, ich analizy, także w trybie *on-line*, przedstawiono na rysunku 1 [2].

System Zdalnej Komunikacji składa się z poniżej wymienionych komponentów [3].

1. Nowe opomiarowanie

W początkowej fazie nowe czujniki (termoelektryczne, ciśnieniowe, przepływowe) zostały podłączone do rejestratorów. W dalszych etapach realizacji projektu czujniki zostały podłączone do DCS oraz Stacji Inżynierskiej EFSPRO+.

2. Nowe opomiarowanie – tymczasowe

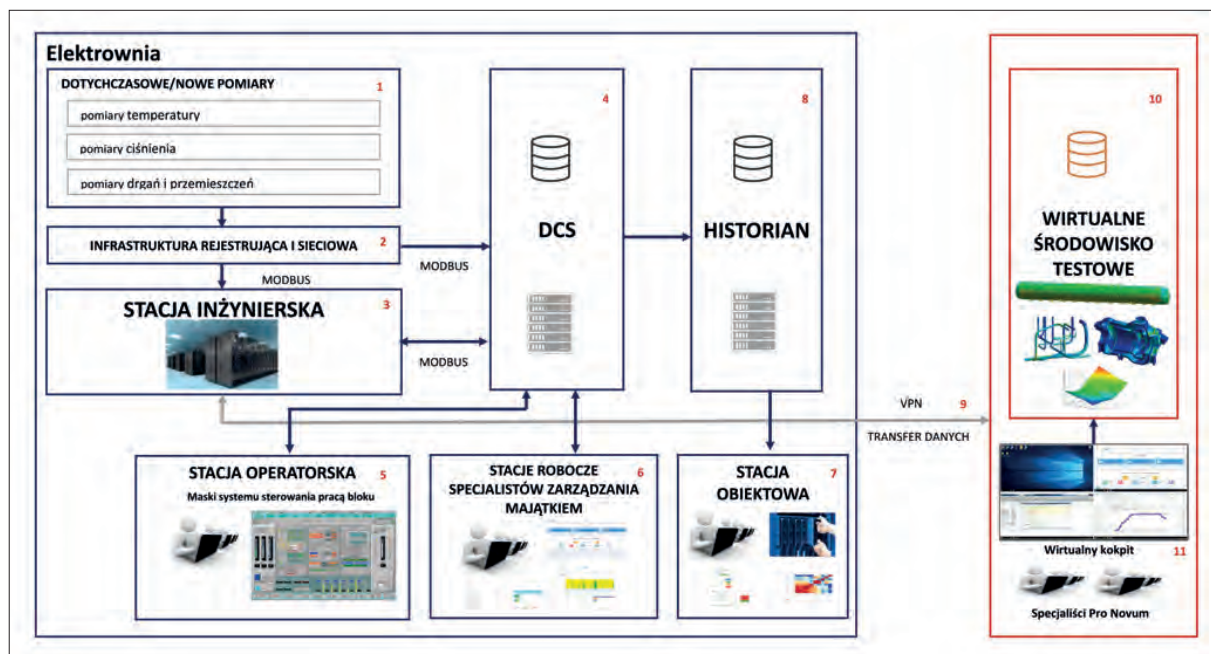
Dodatkowe czujniki temperatury spalin w komorze paleniskowej nie wymagały ciągłego połączenia z Systemem Zdalnej Komunikacji Elektrycznej – *Pro Novum*. Po wykonaniu prac pomiarowych zostały usunięte. Rejestratory były przygotowane na podłączenie dwóch pomiarów przepływu i 28 pomiarów spalin. Sygnały pomiarowe z rejestratorów przekazywane są na Stację Inżynierską oraz do DCS/Ovation.

3. Rejestratory

Rejestratory przetwarzają i archiwizują sygnały z nowego opomiarowania oraz udostępniają je przez protokół Modbus TCP dla DCS oraz Stacji Inżynierskiej EFSPRO+.

4. Stacja Inżynierska EFSPRO+

Stacja Inżynierska EFSPRO+ (połączona z DCS bloku) odbiera i archiwizuje wybrane dane procesowe i sygnały pomiarowe z DCS oraz rejestratorów poprzez moduł Modbus TCP. Do głównych zadań stacji inżynierskiej EFSPRO+ należy przetwarzanie danych oraz umożliwienie działań aplikacji realizujących *Metodę Pro Novum* i wybrane funkcje IŚT.



Rys. 1. System Zdalnej Komunikacji pomiędzy blokiem referencyjnym oraz Informatycznym Środowiskiem Testowym w *Pro Novum*

5. System kontroli i sterowania blokiem – Elektrownia

6. DCS Ovation

Do DCS dostarczane są sygnały z nowego opomiarowania. DCS udostępnia wartości istniejących sygnałów dla Stacji Inżynierskiej EFSPRO+. Algorytmy wykorzystują sygnały procesowe, które są generowane przez Stację Inżynierską i mogą wpływać na układ sterowania bloku.

7. Stacja operatorska – Elektrownia

Do istniejących interfejsów dodano informacje i możliwości sterowania z wykorzystaniem opracowanych algorytmów. W ramach prac przygotowano także nowe maski operatorskie.

8. PI OSIsoft

Baza danych, która archiwizuje sygnały z DCS. Wyselekcjonowana lista sygnałów istniejących oraz z nowego opomiarowania, po udostępnieniu w DCS, przetwarzana jest do odpowiedniego formatu, a następnie przesyłana do IŚT w *Pro Novum*.

9. Zrzut danych

Zrzut danych z bazy danych generowany jest automatycznie w odpowiednich odstępach czasowych i przesyłany do IŚT w *Pro Novum* przez udostępniony interfejs https zapewniający bezpieczny transfer danych.

10. Informatyczne Środowisko Testowe

Informatyczna infrastruktura, do której udostępniane są niezbędne dane do modelowania, symulacji, kalibracji, walidacji rozwiązań *Metody Pro Novum*.

11. Specjaliści

Specjaliści uczestniczący w Programie Bloki 200+

Logi Stacji Inżynierskiej EFSPRO+

Logi przekazywane są do Informatycznego Środowiska Testowego *Pro Novum* przez udostępniony interfejs. Zawierają one dane i raporty z pracy systemu.

Aktualizacje

W przypadku dodania nowych funkcjonalności możliwa jest do wykonania aktualizacja oprogramowania, która może zostać pobrana z IŚT, w odpowiednim trybie, przez upoważnionego specjalistę elektrowni i zainstalowana na Stacji Inżynierskiej.

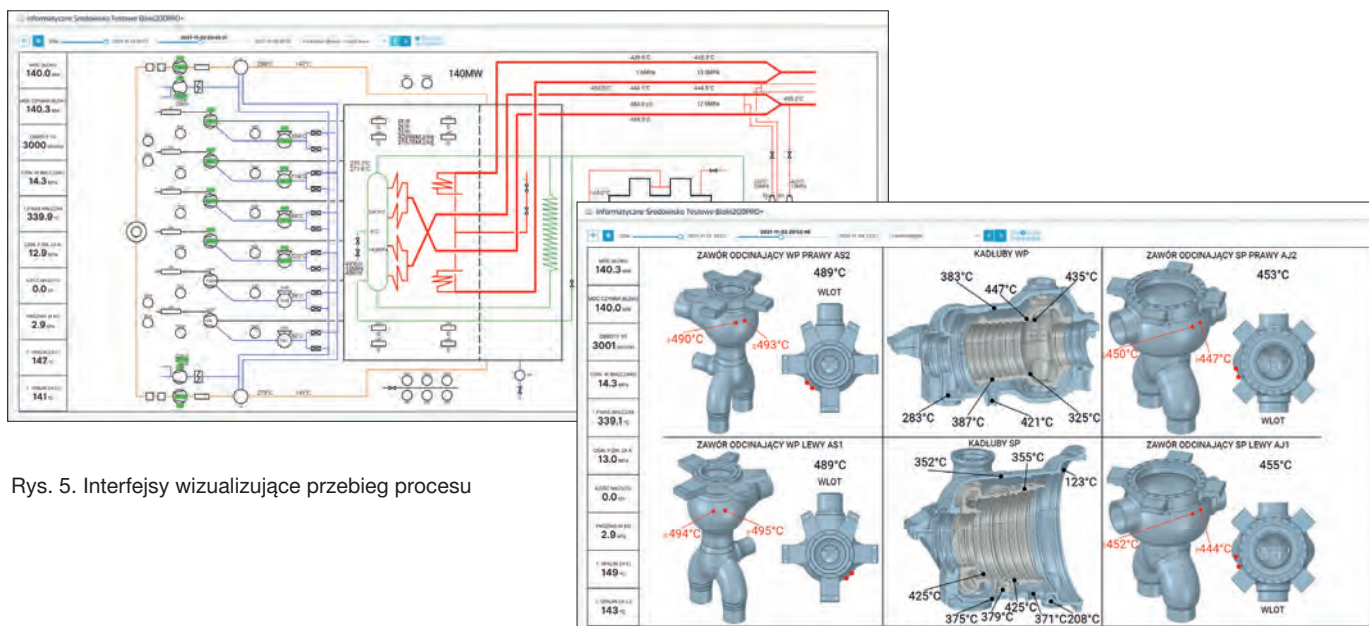
Informatyczne Środowisko Testowe

Informatyczne Środowisko Testowe (IŚT), w którym zaimplementowano Wirtualny Blok klasy 200 MW (WBK200) oraz Platformę Informatyczną BLOKI200PRO+ składającą się z programów przedstawiono na rysunku 1 [1,4].

Dostęp do Informatycznego Środowiska Testowego (IŚT) może odbywać się poprzez przeglądarkę internetową lub połączenie za pośrednictwem zdalnego pulpitu (rys. 3). Użytkownikami IŚT są specjaliści *Pro Novum*, specjaliści elektrowni oraz Partnerów współpracujących z *Pro Novum*.

Dla specjalistów uczestniczących w Programie Bloki 200+ wydzielono odpowiednie maszyny wirtualne, gdzie użytkownicy mają pełny dostęp do sygnałów procesowych w trybie on-line i off-line. System został wyposażony w specjalistyczne oprogramowanie, takie jak: IPSEpro, MATLAB oraz ANSYS. Użytkownicy IŚT mają możliwość pracy indywidualnej oraz wspólnej. W ten sposób mogą być integrowane ze sobą części wspólnie realizowanego projektu.

Za pomocą maszyn wirtualnych można uzyskać dostęp do Komunikatora PRO, który jest częścią IŚT. W Komunikatorze udostępniane i archiwizowane są materiały związane z dokumentacją techniczną, sprawozdaniem oraz przebiegiem prac wykonywanych podczas Programu Bloki 200+.



Rys. 5. Interfejsy wizualizujące przebieg procesu

Modelowanie i symulacja

• Symulator naprężeń

Wirtualny blok został wyposażony w symulator naprężeń – stanowiący część Bloku Kontroli Trwałości (BKT), który umożliwia analizę stanu naprężenia urządzeń bloku na podstawie sygnałów rzeczywistych lub zasymulowanych sygnałów wygenerowanych przez specjalistę. Symulator bazując na cyfrowych bliźniakach elementów krytycznych bloku pozwala na analizę bezpieczeństwa pracy bloku podczas przyspieszonych uruchomień i naborów mocy, pracy przy obniżonym minimum technicznym oraz na analizę wpływu zmiany parametrów pracy bloku na stopień wyczerpania trwałości. Bliźniaki cyfrowe stosowane w *Metodzie Pro Novum* oparte są na modelach zredukowanych wygenerowanych na podstawie modeli numerycznych MES elementów bloku [4,5].

• Model bezpiecznej cyrkulacji

Na potrzeby *Metody Pro Novum* zamodelowano proces cyrkulacji czynnika roboczego w konturze parownika bloku referencyjnego dla testowania warunków bezpiecznej pracy kotła w zakresie niskich mocy bloku, tj. 90–129 MW. Model konturu cyrkulacyjnego parownika przygotowano na podstawie udostępnionej dokumentacji oraz pomiarów rozkładu temperatur w komorze paleniskowej kotła dla niskich wydajności, przy mocy bloku poniżej 129 MW. Na podstawie otrzymanych wyników pomiarów rozkładu temperatury w komorze paleniskowej oraz rzeczywistych wskaźników wzmocnienia strumienia ciepła przygotowano model obliczeniowy [4] dla czterech przypadków wydajności bloku referencyjnego – 129 MW, 115 MW, 105 MW oraz 90 MW. Kalibracja i sprawdzenie poprawnego działania modelu polegało na zaimplementowaniu modelu w Informatycznym Środowisku Testowym (IŚT), a następnie zasilenie go danymi historycznymi w celu weryfikacji modelu. Algorytmy zapewniające bezpieczną cyrkulację zaimplementowano na Stacji Inżynierskiej w Elektrowni oraz na Stacji Operatorskiej

• Model poprawy sprawności

Podczas Programu Bloki 200+ przeprowadzono szereg prac związanych z analizą pracy bloku podczas Fazy I i Fazy II projektu. Dokonano weryfikacji, kalibracji oraz walidacji modelu na podstawie obliczeń bilansowych oraz danych pomiarowych.

Na potrzeby Programu Bloki 200+ przygotowano model numeryczny obiegu cieplnego na bloku referencyjnym w programie IPSEpro. Przygotowany model pozwala na przeprowadzenie obliczeń bilansowych i wyznaczenie parametrów procesowych obiegu przy różnych obciążeniach bloku.

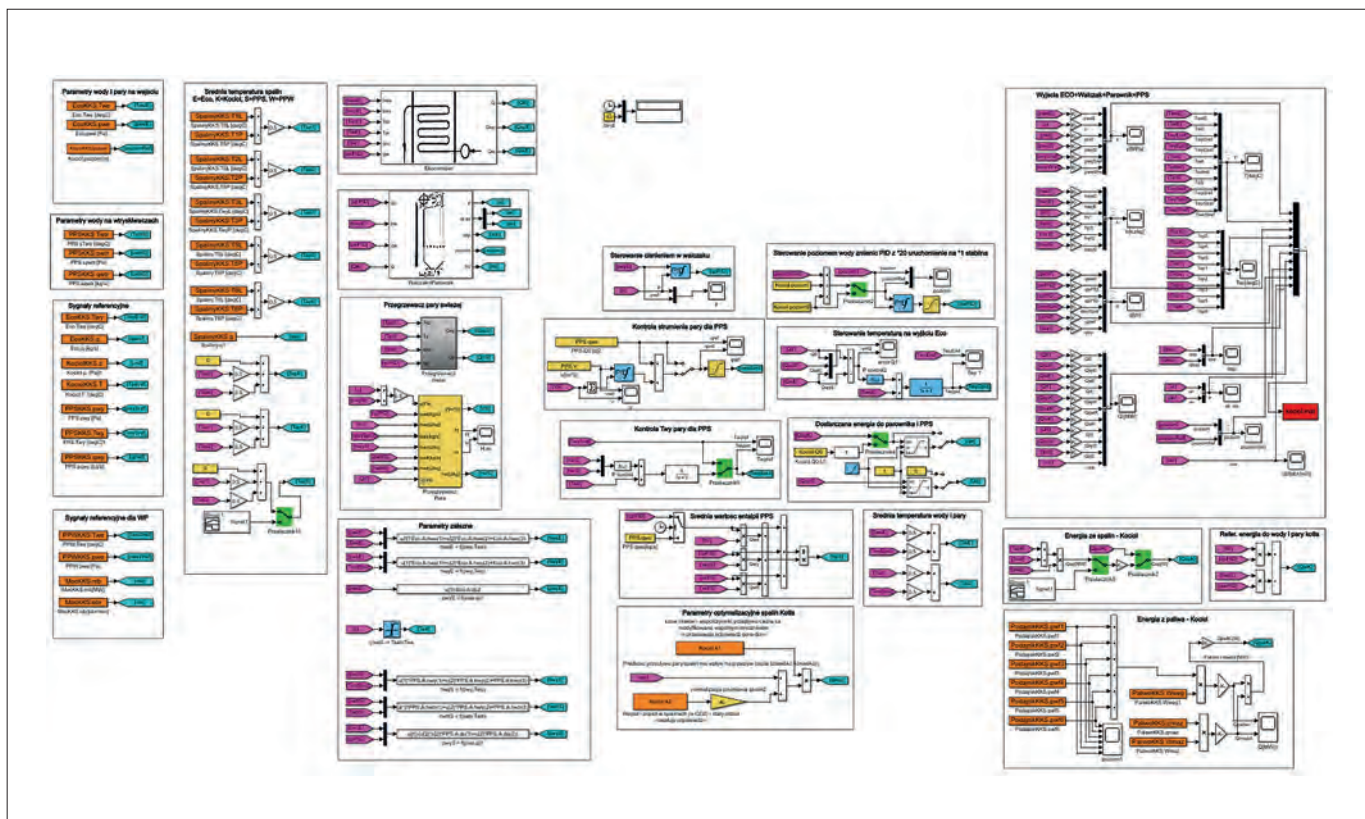
Model obliczeniowy również można stosować przy obciążeniach poniżej aktualnego minimum technicznego. Otrzymane wyniki modelu numerycznego mogą posłużyć do podejmowania decyzji w przypadku doboru optymalnego ciśnienia w odgazowaczach w zależności od warunków pracy bloku [4].

• Model symulacji procesu

Za pomocą specjalistycznego oprogramowania wygenerowano cyfrowe modele bloku energetycznego klasy 200 MW (rys. 6). Modelowanie procesu eksploatacji bloku wykonano w programie MATLAB/Simulink. Przygotowane modele kotła i turbosespołu odwzorowują warunki pracy oraz pozwalają dla znanych sygnałów wyznaczyć odpowiedzi, które nie są możliwe do wyznaczenia w sposób bezpośredni. Model kotła składa się z następujących komponentów [5]:

- podgrzewacz wody (ekonomizer),
- walczak z parownikiem,
- przegrzewacz pary świeżej,
- przegrzewacz pary wtórej oraz podgrzewacz powietrza (Luvo).

Model turbiny składa się z czterech mniejszych podmodeli: część WP, SP, NP oraz skraplacza pary (kondensatora), które umożliwiają wykonywanie analiz niezależnych od siebie oraz wspólnych.



Rys. 6. Model Matlab/Simulink kotła

Przygotowanie danych wymaganych do zasilenia modeli cyfrowych polega na odpowiednim stworzeniu lub edycji plików wsadowych reprezentujących dane z czujników. Kolejny krok polega na zaimportowaniu danych w odpowiednim formacie do skryptu lub aplikacji. Otrzymane wyniki obliczeń prezentowane są w interfejsie graficznym specjalisty, który umożliwia mu obserwowanie i analizowanie w czasie rzeczywistym pracę bloku i jego głównych urządzeń [5].

Podsumowanie i wnioski

Metodę *Pro Novum* wspiera System Zdalnej Komunikacji pomiędzy zmodernizowanym blokiem referencyjnym a Informatycznym Środowiskiem Testowym, który umożliwia zarówno przygotowanie modernizacji, jej przeprowadzenie jak również wsparcie jego bezpieczeństwa, zarówno w zakresie eksploatacji jak i utrzymania stanu technicznego. IST jako ważny komponent zlokalizowany w *Pro Novum* zapewnia bezpieczną i komfortową pracę zdalną dla specjalistów *Pro Novum* i naszych Partnerów Technologicznych, Elektrowni i Urzędu Dozoru Technicznego.

W celu możliwie najdokładniejszej analizy warunków pracy elementów krytycznych kotła, turbiny oraz całych instalacji rurociągów pary świeżej i pary wtórnie przegrzanej wykorzystano zaawansowane, parametryczne bliźniaki cyfrowe. Opracowane moduły oraz modele obliczeniowe są elastyczne i mogą być modyfikowane i wykorzystywane na blokach energetycznych tej samej klasy lub podobnej konstrukcji i parametrach pracy.

PIŚMIENNICTWO

- [1] Trzeczcyński J., Hattas M., Murzynowski W., *Digitalizacja środowiska diagnostycznego*, „Nowa Energia” 2022, nr 2(83).
- [2] Trzeczcyński J., Biatek S., *Diagnostyka wspierana przez wirtualne środowisko testowe*, I/XXIII Sympozjum DIAGNOSTYKA URZĄDZEŃ ENERGETYCZNYCH I INSTALACJI PRZEMYSŁOWYCH – Diagnostyka wobec aktualnych wyzwań energetyki.
- [3] Mordalski W., Murzynowski W., Trzeczcyński J., Biatek S., *Informatyczne środowisko testowe do cyfrowego modelowania procesów towarzyszących eksploatacji bloków energetycznych*, „Energetyka” 2019, nr 12, s. 826-830.
- [4] Innowacyjna technologia *Pro Novum* zmiany reżimu pracy bloków energetycznych klasy 200 MW, Program Bloki 200+, Dokumentacja *Metody Pro Novum* – nie publikowana.
- [5] Kusibab M., Hattas M., Modelowanie zjawisk w układzie przepływowym turbiny towarzyszących pracy bloku przy obniżonym minimum technicznym, „Energetyka” 2022, nr 3, s. 138-142.

Korzyści z zastąpienia kryteriów temperaturowych przez naprężeniowe dla zapewnienia bezpieczeństwa i dyspozycyjności bloków energetycznych eksploatowanych w trybie regulacyjnym oraz o zwiększonej elastyczności

The benefits of replacing the temperature criteria with stress criteria to ensure the safety and availability of power units operated in the control mode and with increased flexibility

W artykule zaprezentowano podejście, w którym kryteria temperaturowe określone w formule Bloków Ograniczeń Termicznych (BOT) zastąpiono kryteriami naprężeniowymi generowanymi w Bloku Kontroli Trwałości (BKT). BKT na bieżąco analizuje m.in. stan naprężeń w elementach krytycznych bloku energetycznego wykorzystując ich cyfrowe bliźniaki. Podejście BKT pozwala na dokładniejsze odwzorowanie stanów termicznych i naprężeń. W stopniowo coraz bardziej zaawansowanej formie jest rozwijane w *Pro Novum* od wielu lat. Towarzyszy zwłaszcza rozwojowi systemów zdalnej diagnostyki jako nieodzownego narzędzia oceny stanu technicznego i prognozowania trwałości dla bloków i urządzeń eksploatowanych w coraz bardziej regulacyjnym trybie. BKT opracowano w ramach Programu Bloki 200+ i zaimplementowano na bloku referencyjnym nr 1 w *ENEA Elektrownia Połaniec S.A.*

Słowa kluczowe: Blok Kontroli Trwałości (BKT), blok energetyczny, praca regulacyjna, stan naprężeń w elementach krytycznych, cyfrowe bliźniaki, prognozowanie trwałości.

The article presents an approach in which the temperature criteria specified in the formula of Thermal Restriction Blocks (Pol. BOT) were replaced with stress criteria generated in the Life Control Block (Pol. BKT). BKT analyzes on an ongoing basis, inter alia, the state of stresses in the critical elements of a power unit using their digital twins. The BKT approach allows for more accurate mapping of thermal states and stresses. In a gradually more and more advanced form, it has been developed in *Pro Novum* for many years. In particular, it accompanies the development of remote diagnostics systems as an indispensable tool for assessing the technical condition and predicting durability for units and devices operated in an increasingly flexible mode. The Life Control Block was developed under the 'Program Bloki 200+' (Power Units 200+ Program) and implemented on the reference block no.1 at *ENEA Elektrownia Połaniec S.A.*

Keywords: Durability Control Block (BKT), power unit, flexible operation, stress state in critical elements, digital twins, life prediction

Jednym z warunków bezpiecznej eksploatacji urządzeń bloków energetycznych jest nieprzekraczanie dopuszczalnych wartości naprężeń w ich elementach krytycznych, zwłaszcza w czasie uruchomień, odstawień czy zwiększonych naborów mocy. Obecnie kontrolę nad naprężeniami w elementach grubościennych kotłów, turbin i rurociągów sprawują tzw. Bloki Ograniczeń Termicznych (BOT), które jako kryteria bezpiecznej eksploatacji definiują operatorowi bloku: dopuszczalne wartości temperatur, różnic temperatur i ich gradientów. Dotrzymanie powyższych parametrów gwarantować ma nieprzekraczanie naprężeń dopuszczalnych. W artykule zaprezentowano podejście, w którym kryteria temperaturowe określone w ramach BOT-ów bezpośrednio zastąpiono kryteriami naprężeniowymi generowanymi w Bloku Kontroli Trwałości (BKT).

BKT na bieżąco analizuje m.in. stan naprężeń w elementach krytycznych bloku energetycznego wykorzystując ich cyfrowe bliźniaki. BKT opracowano w ramach Programu Bloki 200+

i zaimplementowano na bloku referencyjnym nr 1 w *ENEA Elektrownia Połaniec S.A.* [1].

Potrzebę automatycznej kontroli stanu naprężeń w elementach grubościennych urządzeń bloku energetycznego, a także – w zależności od ich wielkości – oddziaływania na układ regulacji pracy bloku dostrzeżono ponad 40 lat temu. Sukcesywnie rozwijane układy mają obecnie postać BOT kotła i turbiny. Wspomagają one operatora bloku energetycznego w zakresie możliwie optymalnej i bezpiecznej eksploatacji urządzeń, zwłaszcza w czasie ich uruchomień czy odstawień. BOT-y kontrolują wartości naprężeń elementów krytycznych urządzeń – w odniesieniu do ich wartości dopuszczalnych – na podstawie odpowiednio przygotowanych układów pomiarowych warunków pracy i obliczeń analitycznych. Te ostatnie jednak bazując na różnego rodzaju uproszczeniach i założeniach, dotyczących np. kształtu geometrii, w sposób nieprecyzyjny odzwierciedlają rzeczywisty stan termiczny i naprężeniowy elementów urządzenia. Z tego powodu obliczenia

analityczne są obarczane różnymi współczynnikami bezpieczeństwa, często prowadzącymi do znaczącego przeszacowania wartości naprężeń, szczególnie w nieustalonych stanach termicznych. W większości przypadków na ich podstawie opracowane zostały kryteria/termiczne warunki pracy elementów, których dotrzymanie i kontrola zapewnić ma nieprzekraczanie dopuszczalnych wartości naprężeń, a tym samym gwarantować bezpieczną pracę i trwałość urządzeń energetycznych.

Podjęcie BOT, jakkolwiek bezpieczne, ogranicza możliwości pracy regulacyjnej/elastycznej bloku oraz utrudnia, a nawet uniemożliwia wykorzystanie zapasów trwałości. Ograniczeń tych pozbawione jest podejście BKT, które pozwala na dokładniejsze odwzorowanie stanów termicznych i naprężeń. Podejście to, w stopniu coraz bardziej zaawansowanej formie, jest rozwijane w *Pro Novum* od wielu lat. Towarzyszy zwłaszcza rozwojowi systemów zdalnej diagnostyki jako nieodzownego narzędzia oceny stanu technicznego i prognozowania trwałości dla bloków i urządzeń eksploatowanych w coraz bardziej regulacyjnym trybie [2-4].

BKT *Pro Novum* jest narzędziem, które w sposób automatyczny i w trybie on-line analizuje aktualne wartości naprężeń w konstrukcji wykorzystując bliźniaki cyfrowe elementów urządzeń energetycznych i rzeczywiste warunki pracy – temperatury metalu i czynnika oraz jego ciśnienie i przepływ. Umożliwia także monitorowanie stanu technicznego kryterialnych, grubościennych elementów bloku do pełnego wyczerpania ich trwałości, także w zakresie bezpiecznej propagacji pęknięć według kryteriów mechaniki pęknięcia (rys. 1) [5].

Bliźniaki cyfrowe stosowane w BKT mają postać modeli zredukowanych, utworzonych na podstawie modeli numerycznych MES, które w sposób dokładny odzwierciedlają: geometrię urządzeń lub całych instalacji (np. rurociągowych), zamocowania i warunki pracy urządzenia (rys. 2).

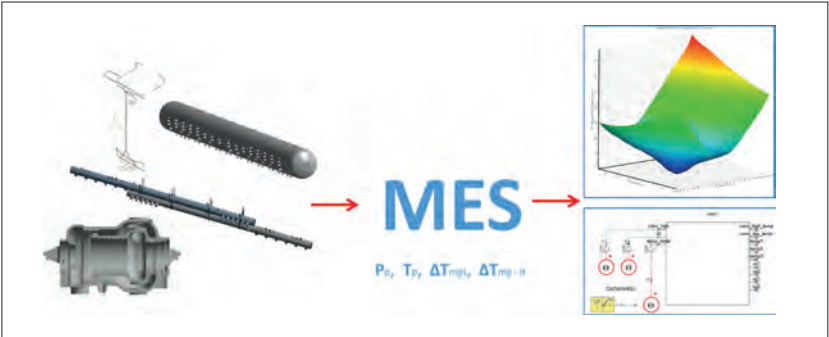
Numeryczna analiza naprężeń umożliwia zastosowanie nowych kryteriów bezpiecznej eksploatacji prowadzących do zwiększenia elastyczności bloku, a dodatkowo ze względu na możliwość analizy naprężeń w danych lokalizacjach elementu rzeczywistego BKT oferuje również obliczenia Stopnia Wyczerpania Trwałości (SWT) na podstawie analizy zmęczenia i pełzania materiału. Istotną cechą BKT jest możliwość analizy stanu wyężeniowego elementu w różnych jego obszarach równolegle, zwłaszcza w tzw. potencjalnych strefach uszkodzeń (PSU). Automatyczne obliczenia SWT w czasie rzeczywistym pozwalają na wiarygodne oszacowania aktualnych zapasów trwałości

elementów urządzeń ciepłno-mechanicznych bloku energetycznego, co ma znaczenie zarówno dla zapewnienia bezpiecznej eksploatacji z punktu widzenia operatora bloku jak również dla zapewnienia oczekiwanej dyspozycyjności, co pozwala specjalistom od utrzymania majątku na optymalizację planów remontowych.

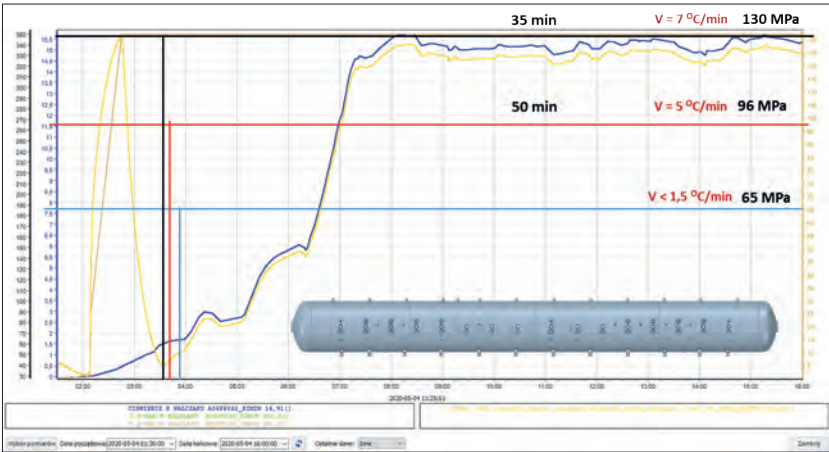
Niewątpliwą zaletą BKT są jego możliwości symulacyjne. Wejściami do cyfrowych bliźniaków poszczególnych elementów grubościennych są ich warunki/parametry pracy. Na ich podstawie BKT generuje m.in. bieżące wartości naprężeń w elementach. Parametry te mogą być dowolnie modyfikowane, tak by zasymulować inne/nowe warunki pracy elementów (rys. 3). Umożliwia to ocenę stanu wyężeniowego elementów przed wykonaniem testów pracy na rzeczywistym bloku.



Rys. 1. Blok Kontroli Trwałości – wykorzystanie zapasu trwałości



Rys. 2. Bliźniaki cyfrowe elementów krytycznych bloku 200 MW



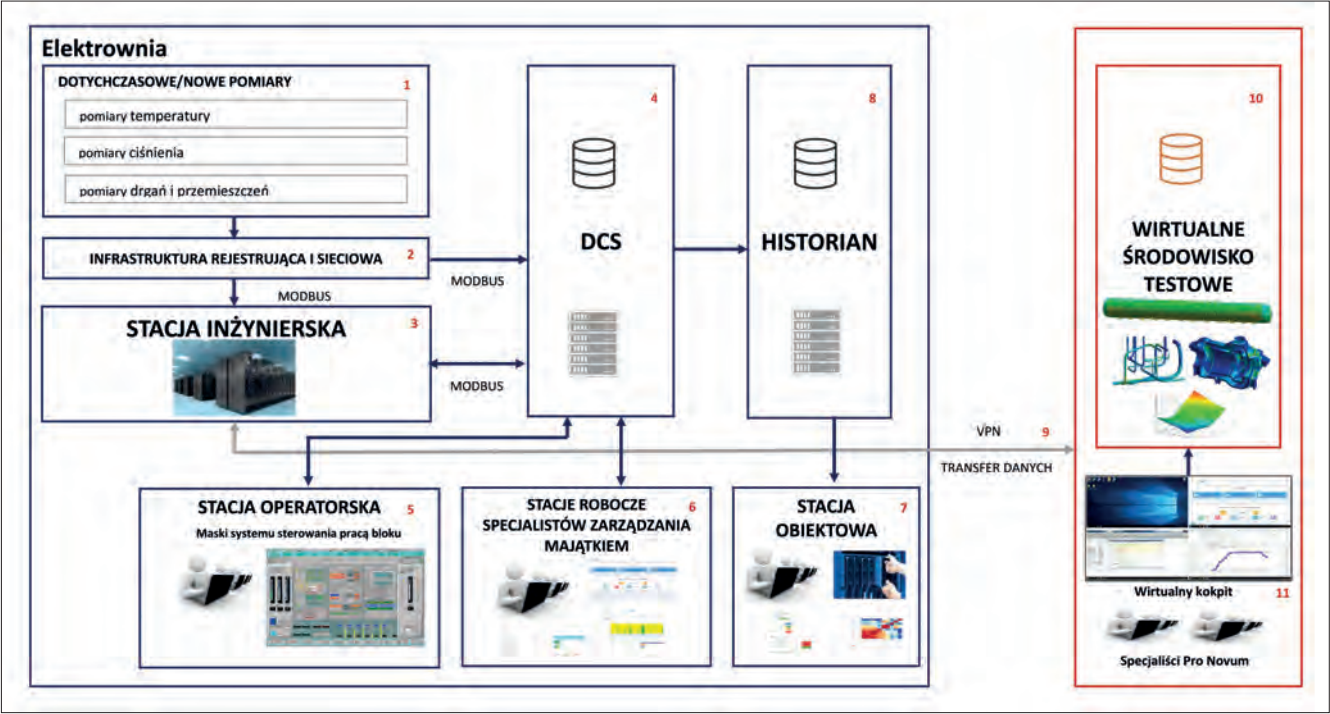
Rys. 3. Przykład symulacji warunków pracy walczała kotła EP 650

Wykorzystanie możliwości symulacyjnych BKT ogranicza także ilość koniecznych do wykonywania kosztownych testów na bloku rzeczywistym i równocześnie pozwala na ocenę bezpieczeństwa w nowych warunkach pracy.

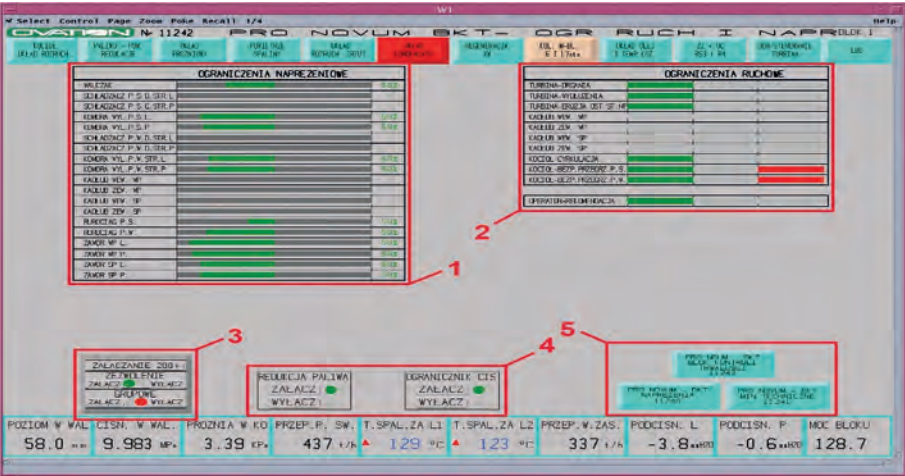
BKT jest narzędziem, które ma swoje odpowiednie miejsce w infrastrukturze IT elektrowni. Jest zaimplementowany na dedykowanej Stacji Inżynierskiej *Pro Novum*, która m.in. jest bezpośrednio, dwukierunkowo zintegrowana z systemem DCS. Całość z wykorzystaniem systemu zdalnej komunikacji zintegrowana jest z Informatycznym Środowiskiem Testowym (IŚT) w *Pro Novum* (rys. 4). W ten sposób BKT zasilany jest sygnałami pomiarowymi z dotychczasowych oraz nowo zabu-

dowanych czujników pomiarowych. Wszystkie obliczenia BKT wykonywane są na Stacji Inżynierskiej, a ich wyniki są prezentowane na odpowiednich maskach na stacji operatorskiej bloku referencyjnego – (rys. 5).

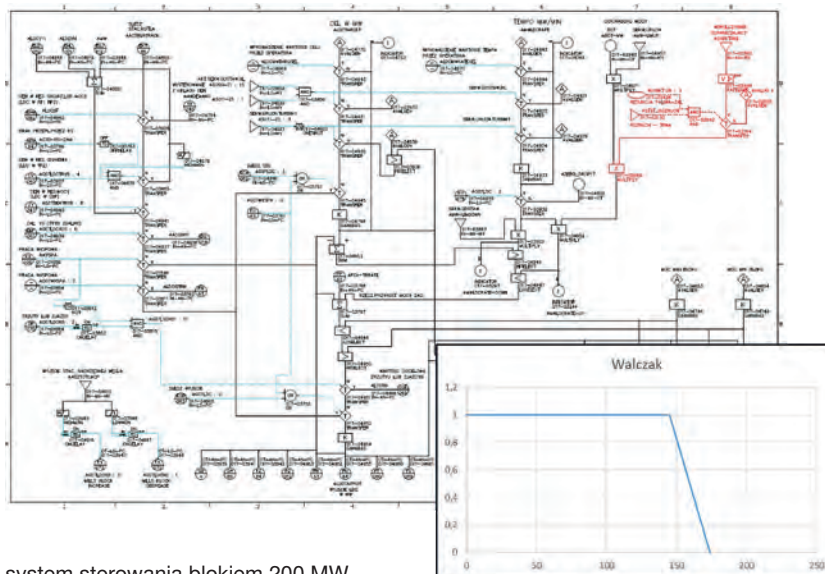
W przypadku gdy określone przez algorytmy BKT wartości naprężeń w odpowiednio zlokalizowanym obszarze elementu grubościennego zbliżają się lub przekraczają wartości dopuszczalne, ze Stacji Inżynierskiej wysyłany jest sygnał do logik systemu sterowania blokiem (według odpowiednio przygotowanej funkcji). Sygnał ten, w zależności od tego, z którego elementu pochodzi, ogranicza lub zatrzymuje tempo naboru temperatury pary nasyconej, świeżej lub wtórnej (rys. 6).



Rys. 4. Lokalizacja Stacji Inżynierskiej z zaimplementowanymi algorytmami Bloku Kontroli Trwałości (BKT) w infrastrukturze IT elektrowni zintegrowanej z Informatycznym Środowiskiem Testowym zlokalizowanym w *Pro Novum* [1]



Rys. 5. Wizualizacja na maskach operatorskich wyników obliczeń realizowanych przez Blok Kontroli Trwałości zaimplementowany na Stacji Inżynierskiej *Pro Novum* (rys.4)



Rys. 6. Oddziaływanie BKT na system sterowania blokiem 200 MW

Podsumowanie

Wykorzystując dostępną obecnie wiedzę i zaawansowane narzędzia informatyczne opracowano Blok Kontroli Trwałości (BKT), który z powodzeniem wdrożono na bloku referencyjnym nr 1 w ENEA Elektrownia Połaniec S.A. w ramach Programu Bloki 200+. Dzięki temu możliwe było zrealizowanie w sposób bezpieczny zadań związanych m.in. z przyspieszeniem uruchomień ze stanu ciepłego, zimnego i gorącego oraz zwiększeniem gradientu naboru mocy do 9 MW/min. Wykorzystanie BKT zapewniło w czasie przeprowadzanych testów i Pomiarów II – oceniających skuteczność *Metody Pro Novum* – kontrolę bezpieczeństwa podczas realizacji przyspieszonych procesów na bloku, a także ich skutków.

Niewątpliwe korzyści z zastosowania kryteriów naprężeniowych wspieranych przez BKT wymieniono poniżej.

1. Dokładniejsze, niż w przypadku metod analitycznych, odwzorowanie stanu termicznego i naprężeniowego elementów grubościennych. Bliźniaki cyfrowe są dużo dokładniejszym odwzorowaniem rzeczywistych elementów i ich warunków pracy.
2. Możliwość równoległej analizy stanu naprężeń w różnych obszarach poszczególnych elementów.
3. Analiza stanu naprężeń i SWT w czasie pełnych cykli pracy elementu, tj. uruchomienie – praca – odstawienie.
4. Analiza wytrzymałościowa w czasie zakłóceń w pracy czy stanów awaryjnych elementów urządzeń.
5. Obliczenia SWT/zapasu trwałości z uwzględnieniem zdarzeń wymienionych w artykule.
6. Możliwość symulacji zmiennych warunków pracy elementów urządzeń przed przeprowadzeniem testów na bloku rzeczywistym.
7. Ograniczenie liczby kosztownych testów na bloku rzeczywistym.
8. Możliwość bardziej elastycznej pracy urządzeń energetycznych z zachowaniem bezpieczeństwa.
9. Możliwość monitorowania stanu technicznego elementów grubościennych bloku do pełnego wyczerpania ich trwałości, także w zakresie bezpiecznej propagacji pęknięć we-

dług kryteriów mechaniki pęknięcia – nadzór nad warunkową pracą uszkodzonych elementów.

10. Wykorzystanie BKT nie tylko na blokach, od których oczekuje się większej elastyczności czy pracy regulacyjnej. BKT można z powodzeniem implementować na innych blokach i/lub wybranych urządzeniach bloku.
11. Możliwość szybkiego dostosowania cyfrowych bliźniaków BKT do zmian w konstrukcji elementów na skutek ich modernizacji, napraw czy skutków awarii.
12. Możliwość prognozowania trwałości elementów według praktycznie dowolnych scenariuszy eksploatacji bloków, urządzeń i instalacji.

PIŚMIENNICTWO

- [1] Trzeczynski J., *Poprawa elastyczności bloków klasy 200 MW poprzez wykorzystanie możliwości i rezerw po stronie sterowania oraz zapasów trwałości*. „Energetyka” 2022, nr 6, Biuletyn Pro Novum 2/2022.
- [2] Trzeczynski J., *Diagnostyka źródłem wiedzy i strategii eksploatacji*. „Energetyka” 2020, nr 12. Biuletyn Pro Novum 2/2020.
- [3] Trzeczynski J., Stanek R., Rajca S., Staszalek K., Sobczyszyn A., *Diagnostics of Long Time Operated Power Units Planned for Flexible Operation*. VGB Workshop „Materials and Quality Assurance”. 18-19 May 2017 in Maria Enzersdorf/Austria.
- [4] Trzeczynski J., Hattas M., Murzynowski W., *Digitalizacja środowiska diagnostycznego jako proces wspierający bezpieczeństwo i dyspozycyjność bloków energetycznych oraz możliwość poprawy ich elastyczności w niskonakładowy sposób*. „Nowa Energia” 2022, nr 2(83).
- [5] Murzynowski W., *Wykorzystanie zdalnej diagnostyki i mechaniki pęknięcia do zapewnienia bezpieczeństwa i dyspozycyjności w końcowej fazie eksploatacji elementów i urządzeń energetycznych*. VII Konferencja Techniczna „Utrzymanie ruchu – diagnostyka, remonty, modernizacje. 17-18 marca 2021.

Wyniki realizacji *Metody Pro Novum* na bloku referencyjnym nr 1 w ENEA Elektrownia Połaniec – korzyści i możliwości jej komercjalizacji

The results of the *Pro Novum Method* on the reference unit No. 1 in ENEA Elektrownia Połaniec SA – benefits and possibilities of its commercialization

W *Pro Novum*, w ramach Programu Bloki 200+, opracowano niskonakładową i uniwersalną metodę zwiększenia elastyczności bloków klasy 200 MW, jaka zwiększa ich bezpieczeństwo i dyspozycyjność niezależnie od stopnia intensywności pracy regulacyjnej. Metoda opracowana przez *Pro Novum* polega na wykorzystaniu rezerw technicznych urządzeń bloku energetycznego. Prace badawczo-rozwojowe, podczas których *Metoda Pro Novum* została zweryfikowana na bloku rzeczywistym zostały zakończone, a osiągnięcie wszystkich założonych wskaźników potwierdzone podczas pomiarów przeprowadzonych przez niezależną firmę pomiarową, zgodnie z wymaganiami NCBR. *Metoda Pro Novum* może wspierać bezpieczeństwo i dyspozycyjność bloków klasy 200 MW w okresie transformacji polskiego sektora elektroenergetycznego.

Słowa kluczowe: Program Bloki 200+, *Metoda Pro Novum*, zwiększenie elastyczności bloku, poprawa bezpieczeństwa i dyspozycyjności bloków klasy 200 MW, wyniki zastosowania *Metody Pro Novum*

In *Pro Novum*, as part of the 'Program Bloki 200+' (Power Units 200+ Program), a low-cost and universal method of increasing the flexibility of 200 MW class units has been developed, which increases their safety and availability, regardless of the intensity of the flexible operation. The Method developed by *Pro Novum* is based on the use of technical reserves of the power unit devices. Research and development works, during which the *Pro Novum Method* was verified on the real power unit have been completed, and the achievement of all the assumed indicators was confirmed during measurements carried out by an independent measurement company, in accordance with the requirements of the National Center for Research and Development. The *Pro Novum Method* can support the safety and availability of 200 MW power units in the period of transformation of the Polish power sector.

Keywords: Power Units 200+ Program, *Pro Novum Method*, increasing the unit flexibility, improving the safety and availability of 200 MW class units, the results of using the *Pro Novum Method*

W ramach Programu Bloki 200+ *Pro Novum* opracowało niskonakładową i uniwersalną metodę, zwiększenia elastyczności bloków klasy 200 MW, pozwalającą dostosować je do nowych wymagań i reżimu pracy cechującego się szybszymi niż dotąd uruchomieniami i naborem mocy, obniżonym minimum technicznym oraz dużą liczbą odstawień i uruchomień.

Metoda opracowana przez *Pro Novum* polega na wykorzystaniu rezerw technicznych urządzeń bloku energetycznego i jest kolejnym osiągnięciem w dorobku diagnostycznym Firmy, która obchodzi jubileusz 35-lat istnienia. Rozwiązanie to nie wymaga prac modernizacyjnych związanych z ingerencją w konstrukcję bloku, długich postojów czy kosztownych wymian elementów. Punktem wyjścia jest wykonanie audytu technicznego bloku w celu zidentyfikowania zapasów trwałości elementów krytycznych i wpływających na niezawodność jego pracy oraz ograniczeń eksploatacyjnych, w tym w zakresie sterowania jego pracą. Testy potwierdzające możliwość zwiększenia elastyczności można istotnie ograniczyć korzystając z modelowania wybranych procesów eksploatacji oraz symulacji nowych warunków pracy i ich skutków. Takie możliwości stwarza posługiwanie się wirtualnym modelem bloku klasy 200 MW, który opracowano dla potrzeb Programu Bloki 200+ i który zlokali-

zowano w *Pro Novum*, w odpowiednio zabezpieczonym Informatycznym Środowisku Testowym.

Prace badawczo-rozwojowe, podczas których *Metoda Pro Novum* została zweryfikowana na bloku rzeczywistym, zostały zakończone [1], a osiągnięcie wszystkich założonych wskaźników potwierdzone w toku pomiarów przeprowadzonych przez niezależną firmę pomiarową [2, 3] według wymagań NCBR, którymi były:

- uruchomienia ze stanu zimnego, ciepłego i gorącego w czasie odpowiednio do: pięciu godzin, dwóch godzin i 30 minut i jednej godziny i 30 minut;
- 8-godzinna praca bloku przy obniżonym minimum technicznym do 40% mocy osiągalnej, tj. 90 MW, przy nie pogorszonej – w stosunku do pomiarów I [2] – stężeniu NOx w spalinach;
- nabór mocy z gradientem 4% mocy znamionowej na minutę, tj. 9 MW/min;
- nie pogorszenie sprawności bloku;
- porównanie wartości jednostkowego zużycia energii chemicznej paliwa przez blok brutto, wyznaczonego na drodze pomiarów ciepło-przepływowych, z wartością obliczoną przez narzędzie informatyczne.

Kryteria konkursowe oraz wyniki Pomiarów II

NAZWA ZADANIA		Kryterium konkursowe	Rezultat <i>Metody Pro Novum</i>
OBLIGATORYJNIE	Skrócenia czasu uruchomienia ze stanu zimnego	5:00	3:01
	Skrócenia czasu uruchomienia ze stanu ciepłego	2:30	1:48
	Skrócenia czasu uruchomienia ze stanu gorącego	1:30	1:13
	Stabilna i bezpieczna praca przy obniżonym minimum technicznym PRZY NIEPOGORSZONEJ – W STOSUNKU DO POMIARÓW I – EMISJI NO _x W SPALINACH	40% mocy osiągalnej 129 MW	90 MW
	Zwiększenie gradientu naboru mocy	4% mocy osiągalnej / minutę 2 MW / min	9,1 MW/min
	Narzędzie informatyczne i kontrolno-pomiarowe – JZECbP ZBIEŻNOŚĆ WYNIKÓW Z WYNIKAMI ZYSKANymi NA DRODZE POMIARÓW CIEPLNO-PRZEPŁYWOWYCH FIRMY POMIAROWEJ		10 158 kJ/kWh
FAKULTATYWNIE	Sprawność wytycznych energii elektrycznej (netto) BEZ POGORSZENIA SPRAWNOŚCI W STOSUNKU DO POMIARÓW I		36,30%

Wyniki Pomiarów II [3] (tab. 1) udowodniły, że dzięki zastosowaniu *Metody Pro Novum* blok referencyjny:

- można uruchamiać szybciej niż w oczekiwanych przez NCBR czasach uruchomień, a nawet krócej od czasów deklarowanych przez *Pro Novum*,
- może pracować stabilnie i bezpiecznie z mocą obniżoną do 90 MW przy emisji NO_x w zakresie 394-402 mg/m³ – co jest wynikiem lepszym od uzyskanych w czasie Pomiarów I [2],
- nabór mocy można realizować z prędkością 4% mocy osiągalnej/minutę, poprawa elastyczności bloku referencyjnego nie pogorszyła jego sprawności, a wartości jednostkowego zużycia energii chemicznej paliwa przez blok na drodze pomiarów i poprzez narzędzie informatyczne opracowane przez *Pro Novum* są zbieżne.

Metoda Pro Novum pozwala zwiększyć elastyczność bloków klasy 200 MW:

- w sposób niskonakładowy,
- względnie szybko, bez potrzeby istotnej zmiany planów produkcyjnych, w tym planów remontowych.

Metoda Pro Novum poprawia bezpieczeństwo i dyspozycyjność niezależnie od stopnia intensywności pracy regulacyjnej:

- może być wdrażana w całości lub w formie implementacji wybranych komponentów w zależności od wymagań Operatora Systemu Energetycznego oraz specyficznych warunków danej elektrowni czy konkretnego bloku,

- wspiera racjonalną redukcję nakładów na utrzymanie stanu technicznego z zachowaniem bezpieczeństwa i oczekiwanej dyspozycyjności,
- może zostać zaimplementowana z korzyścią ekonomiczną nawet na blokach, których dalsza eksploatacja będzie względnie krótka i bez dodatkowych opłat Operatora za bardziej niż dotąd regulacyjny tryb pracy bloku.

Bezpieczeństwo eksploatacji zapewnia kontrola naprężeń w trybie on-line. Programy opracowane na potrzeby jej wdrożenia można wykorzystywać na każdym bloku eksploatowanym w trybie regulacyjnym.

Metoda Pro Novum może wspierać bezpieczeństwo i dyspozycyjność bloków klasy 200 MW w okresie transformacji polskiego sektora elektroenergetycznego.

PIŚMIENNICTWO

[1] *TERMALL Sp. z o.o.*, Protokół Końcowy Wykonanych Prac Fazy III – Nr 1/PN/02/2022 z dnia 15.02. 2022.

[2] *ENERGOTHERM & INWAT*, Sprawozdanie B 140 RE/26/02/01 z Pomiarów I bloku nr 1 w *El. Połaniec* związanych z Programem Bloki 200+.

[3] *ENERGOTHERM & INWAT*, Sprawozdanie B 150 RE/26/02/01 z Pomiarów II bloku nr 1 w *El. Połaniec* związanych z Programem Bloki 200+.



Przedsiębiorstwo Usług Naukowo-Technicznych "Pro Novum" Sp. z o.o.
 ul. Wróbli 38, 40-534 Katowice
 pronovum@pronovum.pl, www.pronovum.pl

ЕКСПЛУАТАЦІЯ І РЕМОНТ ОБЛАДНАННЯ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЙ РЕМОНТ ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Создав в 2006 году с нашими зарубежными коллегами совместное предприятие по современной термообработке, мы и не подозревали, что по мере развития сотрудничества, мы выйдем на решение проблемы в энергетике Украины, которое позволит выйти из тупика катастрофического старения оборудования, в частности, турбинного оборудования.

Наши польские коллеги в уже далёких 1990–1993 годах, изучив опыт советских специалистов в части восстановительной термообработки, сумели пойти гораздо дальше и, фактически, сделали революцию в этой области. Они не только сумели продлить рабочий ресурс турбоагрегатов, но и, сумев подойти комплексно, повысили единичную мощность агрегатов 200 и 300 МВт от 15 до 30 МВт, в зависимости от объёма проведения реконструкции, направленной на повышение мощности. Фактически, без строительства новых блоков они продлили срок их эксплуатации, как минимум на 20–25 лет. Идеологом и законодателем в этой области была и остается компания Pro Novum из Катовице (прообраз нашего ДонОР-ГРЭС). В содружестве с заводом по ремонту ZRE и фирмой Хит-мастерс (термообработка), из того же Катовице, они сумели

добиться потрясающих результатов. Но об этом ниже.

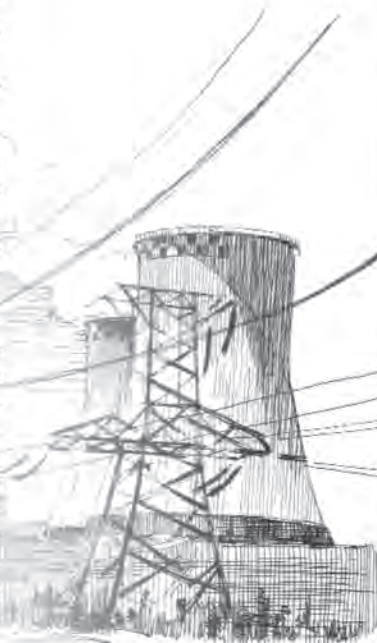
Продление ресурса работы оборудования блоков 200 и 300 МВт тепловых электростанций путём восстановительной термообработки

Эта статья посвящена решению одной из множества проблем украинской тепловой энергетики, а именно, проблеме продления паркового ресурса оборудования блоков 200 и 300 МВт, на основе восстановительной обработки корпусов высокого и среднего давления турбин этих блоков.

Блоки 200 МВт – их сорок три единицы, и блоки 300 МВт – их сорок две единицы, составляют базу тепловой энергетики Украины и, маловероятно, что в ближайшее время им найдется полноценная замена. То, что такую замену необходимо производить, ни у кого из технических, да и не только технических, специалистов не вызывает сомнения. Блоки отработали по тридцать, сорок и более лет. Даже с момента последней масштабной реконструкции пяти блоков с заменой цилиндров на Криворожской ТЭС, прошло уже двадцать лет! Не вызывает сомнения и тот факт, что произвести замещение этих блоков новыми, такими или более мощ-

А.А. Бендус,
Генеральный директор,

ООО «Харьковэнергоремонт»



Експлуатація і ремонт обладнання електростанцій

№2 2011 рік

Енергетика та
Електрифікація

19

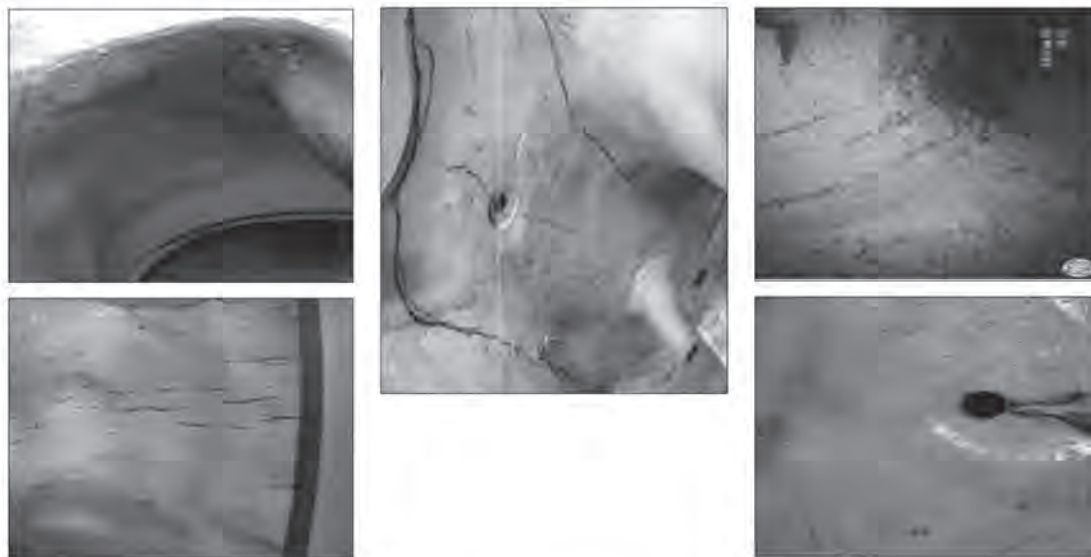


Рис. 1. Повреждения корпусов после долговременной эксплуатации

ными, в ближайшее время будет также невозможно. Денег на строительство новых блоков нет, инфраструктура монтажных и наладочных управлений утеряна, проектные институты, пережив потрясение первых десяти-пятнадцати лет в виде отсутствия реальных заказов, слава Богу, выжили и после громадных потерь квалифицированных кадров начали работать на выполнение заказов в основном российских организаций.

Исходя из этой абсолютно реальной ситуации путь, по которому ещё можно двигаться, чтобы сохранить тепловую энергетику, остается один. И этот путь называется – **РЕКОНСТРУКЦИЯ**. Не латание дыр, а проведение масштабной реконструкции. Причем, с повышением мощности каждого агрегата. Сейчас по учетам самых разных, но, самое главное, апробированных наработок заводов изготовителей, абсолютно реально получить прирост мощности от пятнадцати до двадцати пяти мегаватт на каждом агрегате, что на агрегатах 200 МВт, что на агрегатах 300

МВт. Несложная операция по умножению этих цифр на восемьдесят пять имеющихся агрегатов покажет прирост мощности, который можно получить, пока нет возможности строить новые блоки. Эту политику прекрасно поняли, оценили и уверенно внедряют у себя организации Востокэнерго. По тому же пути пошли и гидроэнергетики. В Укрэнерго полным ходом идут работы, завершающие второй этап реконструкции. Идут, порой трудно, иногда с отставанием от графика, но идут. По этому же пути пошли и наши польские коллеги-энергетики. И далеко обогнали нас с вами, бывших законодателей в сфере энергетики на территории стран, тоже уже бывшего, социалистического содружества.

Как показывает их почти двадцатилетний опыт, выполнение этой абсолютно реальной и чрезвычайно эффективной программы по комплексной реконструкции тепловых энергетических блоков, наряду с продлением паркового ресурса основного оборудования, позволило получить им необходимую передыш-

ку во времени и при этом сэкономить колоссальное количество средств для строительства новых современных энергетических блоков, которые они успешно начали сейчас строить, причем с учётом самых современных технологий. Так, на электростанции Ладжистка (Lajstka) вблизи города Катовице, реконструированы четыре энергоблока установленной мощностью по 200 МВт каждый, запущены они были в течение 1970–1972 годов, и теперь эта станция имеет три блока по 225 МВт и один блок мощностью 230 МВт. Основной прирост мощности 13–15 МВт они получили за счет реконструкции ЦНД по проекту фирмы Альстом, аналогичные проекты реконструкции ЦНД разработаны и Турбоатомом и ЛМЗ, однако, это отдельная тема для другой статьи.

Одним из ключевых вопросов, который стоял перед польскими специалистами в процессе проведения реконструкции – это вопрос о выборе пути при реконструкции цилиндров высокого и среднего давления

єтих блоків. Їх блоки на момент проведення реконструкції отработали до 200 тисяч годин. Ідти по шляху заміни їх корпусів на нові, або спробувати випробувати на практиці давно відому технологію, відому, в тому числі, і у нас в Україні, відновительної термообробки металів. Вони вибрали шлях освоєння і введення технології відновлення металів циліндрів і не помилились.

Суть технології заключається в здійсненні ідеї повернення властивостей металів корпусів турбін, які отработали до і вище 200 тисяч годин, в **исходное** стан. Більшість наших блоків 200 і 300 МВт отработали вже цей ресурс, а деякі наработали по 300 тисяч годин і більше. Як відомо, в процесі такої тривалої експлуатації в металі корпусів циліндрів високого і середнього тиску цих турбін, як правило, виникають багатовисхідні тріщини, і відбувається інтенсивне змінення структури металів під впливом тривалої роботи в умовах високих температур і тиску. Особливо це стосується зон, розташованих в районі парового впуску. Якщо також урахувати, що поряд з причинами, блоками цієї потужності експлуатувались в умовах далеких від ідеальності, і, замість стаціонарних режимів, їм приходилося працювати в режимах регулювання потужності і частоти мережі в системі, то велике кількість пусків з різних станів, особливо з холодного, теж наклало свій відбиток на пошкоджуваність і тривалість життя корпусів циліндрів цих турбін.

Процес відновительної термічної обробки передбачає нагрів металів корпусів і потім його охолодження по спеціальному графіку в процесі проведення цієї обробки. Приведу дві цитати:

“... Розуміється, в залежності від режиму термообробки, змінюється і вплив термообробки на структуру металів. В частині, при високому отпускі зменшується рівень залишкових напружень, частково розчиняються знижують хрупкість частинки карбонітридів. Однак більш або менш повністю усунути вплив тривалої експлуатації на структуру: **вернуть легирующие элементы в твердый раствор, уменьшить количество несовершенств кристаллической решётки на границах, залечить микроразруждаемость металла**

– можна тільки при повній або частковій перекристалізації шляхом однократної нормалізації з високим отпускі або циклічної термообробки.” <Лит.1>

“... В роботах ВТИ показано, що хороший результат при відновительній термообробці корпусних деталей з сталі 15Х1М1ФЛ, отработавших близько 200 тисяч годин, отримується при циклічній термообробці, включаючий в себе два послідовних нагрівів Ас3 з охолодженням на повітрі і наступним високим отпускі...” <Лит.1>

Однією з перших практиче-

Структура в після експлуатаційному стані

Структура після відновлення

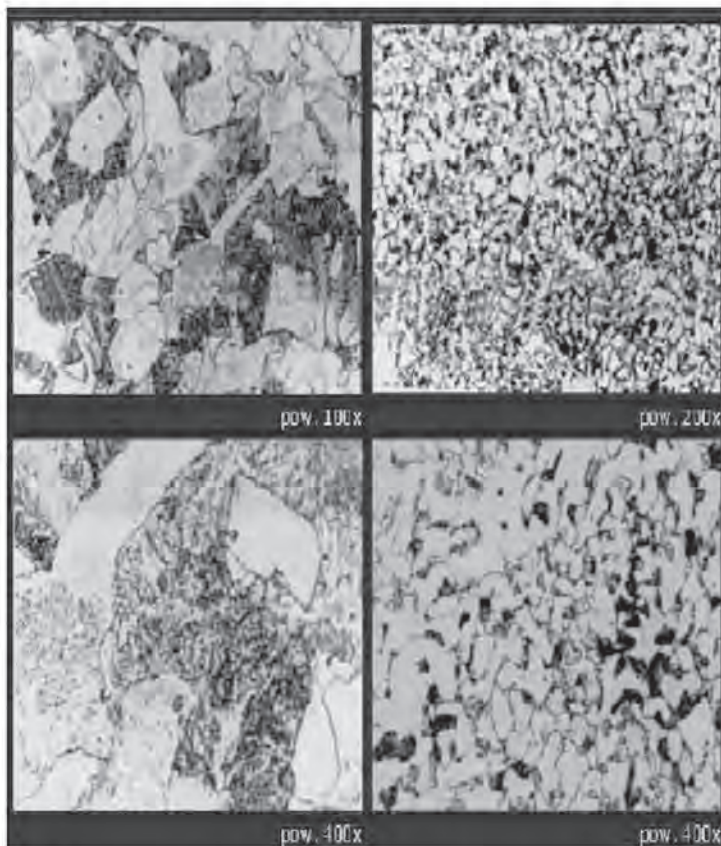
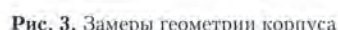


Рис. 2. Стан металів корпусних деталей. Приклади результатів випробувань

Експлуатація і ремонт обладнання електростанцій



Рекомендую посмотреть итоговую статью по результатам этих работ доктора технических

К громадному сожалению, в дальнейшем эти работы в России были почти полностью свёрнуты. И очень жаль, потому как показывает опыт наших польских коллег, это абсолютно перспективное направление, от развития которого, как оказалось, зависит и степень развития различных направлений в машиностроительной отрасли, в частности в турбостроении. По словам наших польских коллег, польскому отделению компании Альстом пришлось несколько перепрофилировать завод по производству новых корпусов по причине интенсивного развития направления восстановления отработавших ресурс корпусов и других элементов турбин на одном из заводов компании ZRE в Катовице. В дальнейшем, наряду с производством новых, Альстом на своих заводах нача-

Это важно, чтобы не сказать, определяющее успех всей работы решение. После такого реше-

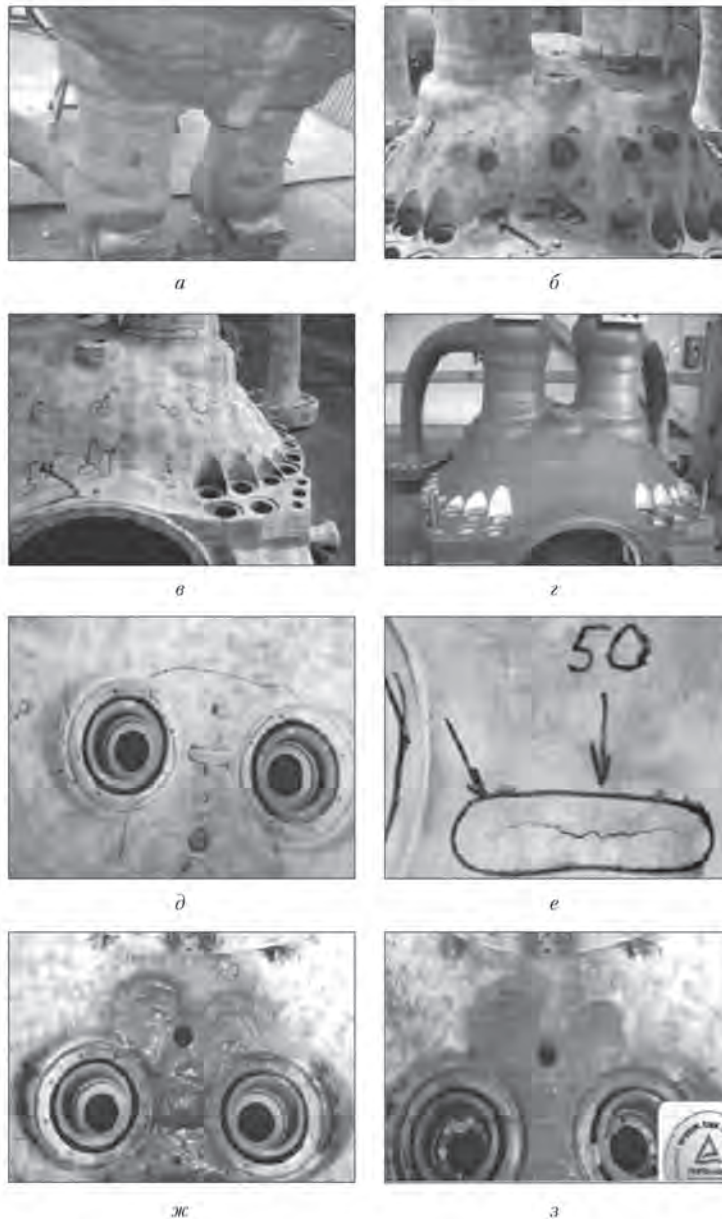


Рис. 4. Восстановление турбинных элементов из литой стали. Примерные действия в процессе восстановления:
д, е – фото деталей после испытаний;
ж, з – фото тех же деталей после ремонта

ния алгоритм восстановления работоспособности корпусов и продления их жизни начал выглядеть следующим образом (см. рис. 4).

- демонтаж корпуса;
- вырезка образцов из различных наиболее напряжённых зон корпуса для анализа структуры металла;

- дефектоскопия тела корпуса различными методами (цветная, рентгеновская, ультразвуковая);
- составление паспорта геометрических размеров корпуса и ротора по специальным компьютерным формам (это делается в случае отсутствия у Заказчика комплекта необходимых чертежей);

- исследование образцов, составление графика термообработки, определение количества циклов восстановительной термообработки и необходимости высокого отпуска;

- составление ремонтного формуляра с нанесением всех дефектов, включая все трещины, а также дефектов литья и зон наплавки технологических припусков;

- устранение дефектов, наплавка, заплавка, приварка донышек на патрубки для последующего гидравлического испытания каждой половины корпуса;

- восстановительная термообработка в печи по заданному графику;

- вырезка образцов, анализ структуры восстановленного металла, проверка твердости, ударной вязкости и всех остальных характеристик;

- гидравлические испытания корпуса;

- механическая обработка корпуса по размерам, заданным паспортом геометрических размеров;

- сборка и монтаж корпуса с установкой первичных приборов диагностики состояния металла корпуса в процессе эксплуатации.

Необходимо отметить, что по этому алгоритму заводом ZRE в Катовице в период с 1993 по 2010 год включительно, было восстановлено и возвращено к жизни более ста пятидесяти единиц оборудования для шести стран мира. Номенклатура восстановленного оборудования, кроме корпусов цилин-

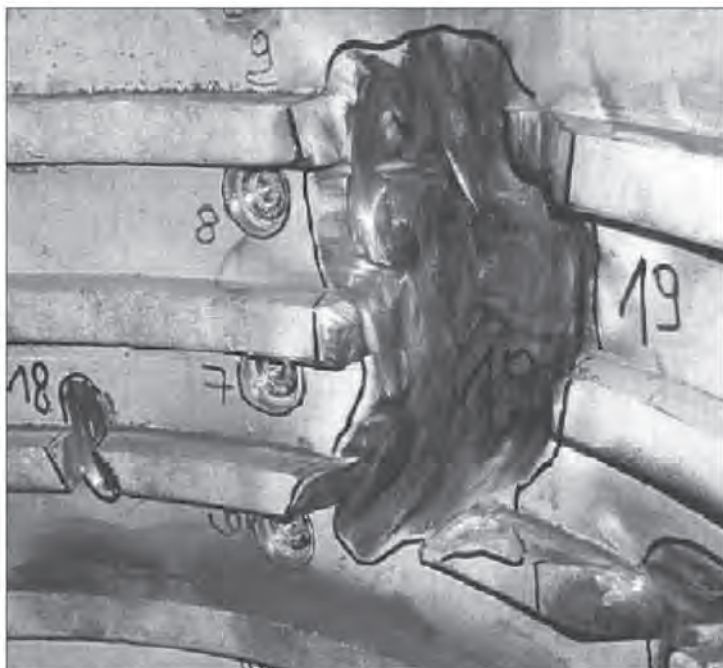


Рис. 5. Восстановление элементов турбины из литой стали. Выборка металла ВД после удаления трещин

тия на два года эксплуатации, при соблюдении её правил, конечно, и расчётный индивидуальный ресурс работы оборудования, который составлял, как правило, не меньше 100000 часов работы.

Должен отметить, что независимо от наших польских коллег из ZRE, в 2008–2009 годах в Украине финско-польско-украинским СП “Хитмастерс – ХАЭР”, успешно выполнена реновация двух корпусов стопорно-регулирующих клапанов блока 200 МВт Змиевской ТЭС. Беды корпусов, после 214 тысячи часов наработки, были характерными бедами для всего семейства оборудования данного вида: множественные трещины разной глубины и длины, разных причин возникновения, по телу, особенно в районе радиусных переходов и в местах посадки сёдел и, конечно, не выдерживающие никакой критики, крайне низкие показатели



Рис. 6. Восстановительная термообработка корпусных деталей

дров высокого и среднего давления турбин, включала в себя и паровые коробки блоков парораспределения, корпуса стопорных, регулирующих клапанов, обойм диафрагм и многое другое.



Рис. 7. Ремонт коробок клапанов

После выполнения комплекса работ заводом выдавалась гаран-

по металлографии. Кроме этого, мы столкнулись с наличием

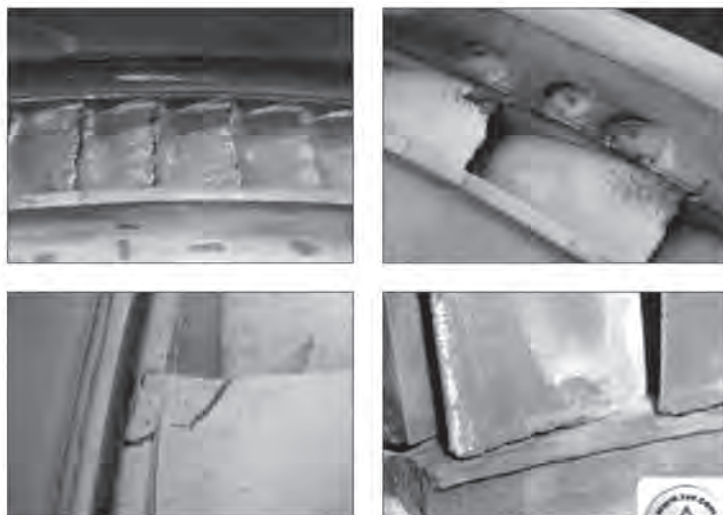


Рис. 8. Типичні пошкодження направляючих лопаток

серьёзных дефектов первоначального литья, которые пришлось тоже устранять, выбирая их механическим способом и затем заправляя их по специальной технологии. После окончания всего комплекса работ получено продление индивидуального

ресурса на 80 000 часов, т.е. на двенадцать лет. В работе, кроме СП, как генподрядчика, принимали участие: Полтавский турбомеханический завод – механическая обработка после восстановительной термообработки, изготовление и посадка новых

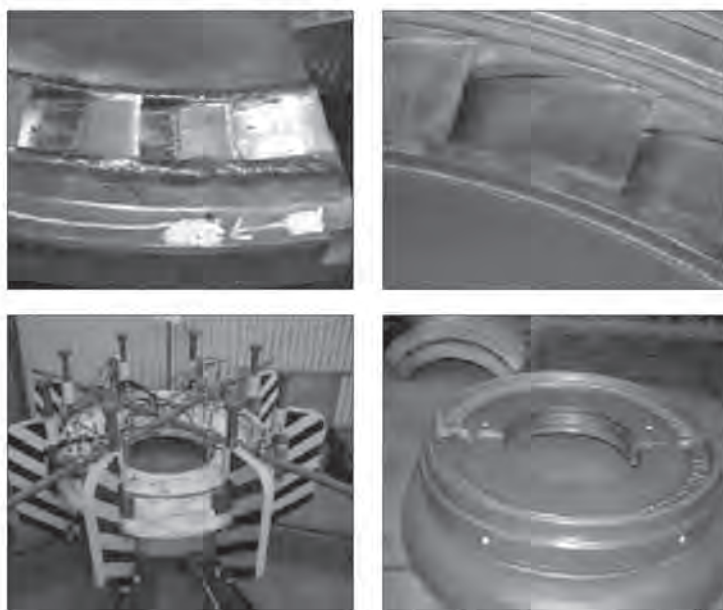


Рис. 9. Ремонт диафрагм с использованием установки для испытаний стрелы прогиба

сёдел, независимая лаборатория металлов Харьковской ТЭЦ-3 – весь комплекс металлографических исследований и выдача заключений свойств восстановленного металла корпусов, ДонОРГРЭС – анализ материалов и выдача заключения о расчетном сроке продления индивидуального ресурса клапанов. Работа выполнялась в первый раз и все компании относились к ней с высочайшей осторожностью и строгостью, что чрезвычайно важно. Работа выполнялась только с одним циклом восстановительной обработки и высокого отпуска. Связано это было прежде всего с жёстким лимитом денег на эти цели – всего 280 тысяч грн на оба клапана (сравните со стоимостью коробок двух новых клапанов). Иными словами, на второй цикл восстановительной обработки просто не хватило денег на электроэнергию, так как печь в Харькове изначально была спроектирована, по размерам для восстановительной обработки паровых коробок блоков 200, 300 и 500 МВт, и изготовлена специально под электричество. Нагрев в ней происходит нихромовыми нагревательными элементами в специальной изоляции. Печь управляется компьютерами и нагрев происходит строго по заданному графику термообработки.

В условиях жестокого дефицита средств и невозможности быстрого восстановления строительства новых блоков в тепловой энергетике, я глубоко убежден, что альтернативы восстановительной термической обработке и продлению сроков работы отработавшего оборудования блоков 200 и 300 МВт в Украине нет. В пользу этого убеждения свидетельствует, прежде всего, экономика. Экономика, подтвержденная двадцатилетним опытом наших польских коллег. Так, по их опыту, стоимость комплекса

Експлуатація і ремонт обладнання електростанцій



а



б

Рис. 10. Наплавка роторного диска – (а) и автоматическое перемещение головки, устраняющие дефекты сварки (наплавка поверхности ротора в зоне концевых уплотнений) – (б)

работ по продлению работы корпуса цилиндра турбины с двойным циклом восстановительной термообработки, как правило, не превышает 25-35% от стоимости изготовления и поставки нового корпуса цилиндра. Срок исполнения – до четырех месяцев, с начала демонтажа. Колебания размера цены объясняются числом циклов термообработки, а число циклов, как Вы поняли, напрямую зависит от степени разрушения структуры металла и необходимой глубины ее восстановления. Причем, цена включает в себя весь комплекс работ по описанному выше алгоритму и кроме этого, **что чрезвычайно важно, восстановление, как направляющего аппарата, так и всех видов уплотнений.**

В сочетании со всеми мероприятиями по реконструкции турбин в целях повышения мощности, этот описанный путь в настоящее время может быть единственно возможным для сохранения нашей некогда очень успешной тепловой энергетики Украины. Я в этом глубоко убежден и хочу, чтобы этим убеждением прониклись все

специалисты, связанные с большой тепловой энергетикой. Да, на этом пути много препятствий, но эти препятствия абсолютно преодолимы. В связи с этим, нельзя не сказать о довольно жесткой отрицательной позиции к этим процессам заводов изготовителей. Но это вполне понятно и объяснимо, точно такой же была позиция и Альстома в Польше. Союзниками в этом деле их назвать трудно.

В заключение хочу сказать, что руководством компаний:

- Харьковэнергоремонт (Kharkovenergoremont Ltd),
- Про Новум (Pro Novum Ltd),
- Завода по ремонту энергооборудования (ZRE),
- Хитмастерс (Heatmasters)

принято решение о создании Консорциума с названием – **“Восстановление”**. Единственная и основная цель создания Консорциума – выполнение описанных в статье работ **“ПОД КЛЮЧ”**, начиная с демонтажа оборудования и заканчивая монтажом его и, при необходимости, пусконаладкой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гладштейн В.И., Ермолаев В.В., Шкляр А.И., Винокурова Л.А., Симановский А.А., Долгалева В.А. «Восстановительная термическая обработка корпусных деталей при реновации турбин» // «Теплоэнергетика» – 2007 – №4 – с. 8–12.

Jubileusz 35-lecia Przedsiębiorstwa Usług Naukowo-Technicznych „Pro Novum” sp. z o.o.

2 czerwca 2022 r. w godzinach wieczornych, w Akademii Muzycznej im. Karola Szymanowskiego, a konkretnie w Auli im. Bolesława Szabelskiego odbyło się uroczyste spotkanie z okazji Jubileuszu 35-lecia *Przedsiębiorstwa Usług Naukowo-Technicznych „Pro Novum” sp. z o.o.* Wybór miejsca nie był przypadkowy, ponieważ jak wiemy *Pro Novum* od kilkadziesiąt lat aktywnie wspiera śląskich twórców i artystów związanych z Akademią, a Aula jest zdecydowanie najpiękniejszym, absolutnie wyjątkowym miejscem w jej murach.

W Jubileuszu Spółki wzięli udział m.in.: obecni i emerytowani pracownicy *Pro Novum sp. z o.o.*, przedstawiciele grup energetycznych (*PGE GiEK SA, TAURON, ENEA, ENERGA*) i innych grup kapitałowych (*ORLEN, VEOLIA*), organizacje gospodarczych, branżowych i biznesowych z TGPE, SEP i BCC na czele oraz przedstawiciele środowisk naukowych i firm remontowych. Wśród gości znaleźli się także przedstawiciele władz państwowych, władz samorządowych i archidiecezji katowickiej oraz nestorzy polskiej energetyki.

Uroczystość poprowadziła Agnieszka Nowok-Zych – teoretyk muzyki i kulturoznawca, wykładowczyni Akademii Muzycznej w Katowicach, prelegentka, publicystka i krytyk muzyczny. Na początek poprosiła o zabranie głosu członków Zarządu.

Prezes Zarządu Jerzy Trzeszczyński w swoim wystąpieniu, w pierwszej kolejności zwrócił uwagę na fakt, że po 35 latach obecności *Pro Novum* na rynku energetycznym, nie tylko polskim, istnieje podstawa, żeby stwierdzić, że nazwa Firmy nie była przypadkowa, a jej użyteczność tylko fantazją Założycieli, którzy potrafili kompetencje tak połączyć z pasją, że zapewnili sukces nie tylko sobie, ale także młodszym współpracownikom. Jako źródło sukcesu Spółki wskazał





skojarzenie prawdziwego inżynierskiego know-how i rzetelnej wiedzy naukowo-technicznej, które Spółka łączy z najnowszymi technologiami analitycznymi i informatycznymi. *Pro Novum* nigdy nie traktowało diagnostyki jako źródła informacji. Traktowano ją przede wszystkim jako źródło wiedzy. Takie podejście do diagnostyki umożliwiałoby inicjowanie wiele projektów ważnych dla całej krajowej energetyki, takich jak:

- technologie przedłużania trwałości krytycznej infrastruktury elektrowni,
- Wytyczne przedłużania eksploatacji bloków energetycznych z uwzględnieniem regulacyjnego trybu ich pracy,
- stworzenie platformy informatycznej LM System PRO+® będącej software'ową formą „Wytycznych.....”.

Ukoronowaniem takiego podejścia do diagnostyki było pokazanie, że posiadając wiedzę i doświadczenie można zidentyfikować i wykorzystać rezerwy tkwiące nadal w długo eksploatowanych blokach energetycznych, aby poprawić ich elastyczność bez potrzeby sięgania po kosztowne rozwiązania. Umożliwiło to sukces *Pro Novum* w Programie Bloki 200+. Stwierdził też, że Zarząd ma szczególną satysfakcję mając świadomość, że może kreować dalszy rozwój Firmy sięgając po młodszych współpracowników, którzy nie tylko posiadają wystarczające kompetencje, ale także wyposażeni są w podobną pasję oraz dzielą się nie tylko jego strategią, ale także misją. Życzył im, ale także sobie wraz z nimi, dalszych sukcesów i kolejnych jubileuszy *Pro Novum*.

Prezes Jerzy Trzeszczyński swoje wystąpienie zakończył podziękowaniem dla Artystów z Akademii Muzycznej im. Karola Szymanowskiego w Katowicach za nieustającą inspirację do pracy, a zwłaszcza do kreatywnego myślenia i najlepszego, jaki sobie można wyobrazić, relaksu.

Podziękował także swoim najbliższym podkreślając, że również mają swój wkład w sukces *Pro Novum* oraz osobom, które zorganizowały Jubileusz.

Członek Zarządu Wojciech Brunné podziękował obecnym i byłym pracownikom oraz zaznaczył, że Jubileusz *Pro Novum* jest także ich świętem. Podziękowania zostały skierowane także do Klientów za zaufanie, jakim obdarzali Spółkę powierzając nam swoje urządzenia. Następnie głos zabrali: JM Rektor Akademii Muzycznej prof. dr hab. Władysław Szymański, poseł na Sejm RP, Przewodniczący Podkomisji ds. transformacji regionów Pan Adam Gawęda, w imieniu Prezydenta Miasta Pan Mariusz Jankowski, Naczelnik Wydziału Obsługi Inwestorów oraz z ramienia Zarządu Oddziału Zagłębia Węglowego Stowarzyszenia Elektryków Polskich – Prezes, prof. dr hab. inż. Jerzy Barglik i Wiceprezes Pan Mariusz Saratowicz, którzy wręczyli Spółce na ręce Prezesa Zarządu Jerzego Trzeszczyńskiego Medal im. prof. Stanisława Andrzejewskiego. Życzenia i podziękowania na ręce Zarządu złożyli także pracownicy Spółki.

Główną częścią wieczoru był koncert kameralny, którego repertuar został wybrany z rozmysłem, a utwory przeplatane opowieściami o ich genezie, ale także o związkach wykonawców i kompozytora z *Pro Novum sp. z o.o.*, które, trzeba przyznać,





ma niezwykle wkład w promocję współczesnej muzyki kameralnej polskich, a zwłaszcza śląskich kompozytorów. Kwartet Śląski wykonał dwa kwintety fortepianowe – Grażyny Bacewicz z udziałem Piotra Sałajczyka i Juliusza Zarębskiego z towarzyszeniem Wojciecha Światały, a Szymon Krzeszowiec (pierwszy skrzypek Kwartetu) wraz z braćmi Janem i Adamem zaprezentował utwór specjalnie napisany dla nich przez Aleksandra Nowaka – kompozytora, który 10 lat temu napisał utwór z okazji 25-lecia Spółki.

Po koncercie był czas na składanie życzeń, pamiątkowe zdjęcia, degustacje, podziwianie wnętrz Akademii, dyskusje, wspominki i toasty.